

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
PROSESSI- JA MATERIAALITEKNIIKAN OSASTO
MATERIAALI- JA KALLIOTEKNIIKAN LAITOS

**PELLETTISINTRAUSMENETELMÄN SOVELTUVUUS
RAUTARUUKKI OY:N SINTRAUSKÄYTÄNTÖÖN**

Kari Jääskeläinen

Diplomityö, joka on jätetty tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten
Espoossa 25.5.1992.

Työn valvoja

Prof. Kaj Lilius

Työn ohjaaja

FK Kyösti Heinänen

Tekijä ja työn nimi: Kari Jääskeläinen Pellettisintausmenetelmän soveltuvuus Rautaruukki Oy:n sintrauskäytäntöön	
Päivämäärä: 25.5.1992	Sivumäärä: 100
Osasto: Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto Materiaali- ja kallioteekniikan laitos	Professuuri: Mak-77 Materiaalien valmistustekniikka
Työn valvoja: Professori Kaj Lilius	
Työn ohjaaja: FK Kyösti Heinänen	
<p>Tämän työn kirjallisessa osassa on selvitetty sintrauksen ja pelletoinnin teoriaa sekä esitelty lisäaineita, joilla pelletoituvuutta voidaan parantaa. HPS-menetelmä (Hybrid Pelletized Sinter) on käsitelty yksityiskohtaisesti, koska kokeellisessa osassa on tutkittu sen soveltuvuutta Rautaruukki Oy:n sintrauskäytäntöön.</p> <p>HPS-prosessissa valmistetaan 5 - 10 mm halkaisijaltaan olevia pellettejä, jotka syötetään normaalin sintrauskoneen arinalle ja sintrataan. Pellettipatjaan saadaan hyvä permeabiliteetti, minkä seurauksena imutehoa voidaan pienentää tai sintraus aikaa lyhentää perinteiseen sintraukseen verrattuna. Saanti on myös parempi kuin perinteisessä sintrauksessa johtuen tehokkaasta pelletoinnista. Ominaisuuksiltaan ja käyttäytymiseltään masuunissa pellettisintteri on parempaa kuin perinteinen sintteri ja pelletit.</p> <p>Kokeellisessa osassa on tutkittu HPS-menetelmän soveltuvuutta Rautaruukki Oy:n sintrausseokselle ja sintrauskäytännölle. Tutkimuksen kohteina olivat sopivan pelletointilisäaineen löytäminen, kosteuspitoisuus, hienoainoksen määrä, polttoainemäärä ja imuteho.</p> <p>Ajanpuutteen vuoksi ei sintterin laatua voitu kunnolla tutkia. Lisäksi laitteiston asettamien rajoitusten vuoksi ei menetelmän kaikkia etuja saatu kokeissa esille. Kuitenkin voitiin todeta, että menetelmä on toteutettavissa Rautaruukin sintrauskäytännöllä ja sillä on saavutettavissa etuja perinteiseen sintraukseen verrattuna: imutehoa voidaan laskea parantuneen permeabiliteetin seurauksena, sintraus aikaa voidaan lyhentää ja palautemäärä vähenee.</p>	

ALKULAUSE

Tämän diplomityön kokeellinen osa on tehty Rautaruukki Oy:n tutkimuskeskuksessa vuonna 1991.

Professori Kaj Liliusta kiitän hänen työtäni kohtaan osoittamastaan mielenkiinnosta ja neuvoista.

Työni ohjaajaa, FK Kyösti Heinästä, kiitän asiantuntevasta ja innostavasta ohjauksesta ja avusta työn suorituksessa.

Rautaruukki Oy:tä kiitän mielenkiintoisesta aiheesta ja työn rahoituksesta. Koesintraamon taistelijoita, Sakari Nikusta ja Pertti Jaakkosta, kiitän loistavasta työtoveruudesta sekä kokeiden asiantuntevasta suorittamisesta ja muita tutkimuskeskuksen sisseyä kiitän neuvoista, mainion työpaikkahengen luomisesta ja toivotan entistä kireämpiä siimoja.

Työ- ja opiskelutovereitani TKK:n Materiaali- ja kallioteekniikan laitoksella kiitän saamistani neuvoista ja avusta sekä miellyttävästä ilmapiiristä.

Muut, tässä mainitsemattomat ihmiset, tietävät paremmin kuin hyvin oman merkityksensä tämän työn valmistumisen kannalta.

SISÄLLYSLUETTELO:

KIRJALLINEN OSA	1
1. JOHDANTO	1
2. SINTRAUKSEN JA PELLETOINNIN PINTA- JA KOLLOIDIKEMIALLISTA TAUSTAA	2
3. SINTRAUS	7
4. PELLETTIN MUODOSTUMISMEKANISMI	7
5. PERMEABILITEETTI	12
5.1. Partikkelikoon ja raaka-aineominaisuuksien vaikutus permeabiliteettiin	13
5.2. Mikropelletointi/pelletointi	17
5.3. Lisäaineet	24
5.3.1. Bentoniitti - yleisin lisäaine	24
5.3.2. Peridur	25
5.3.3. Alcotac	27
5.3.4. Hiilipitoiset lisäaineet	28
5.3.5. Palavat sideaineet	29
5.3.6. Metallurgisten ominaisuuksien parantaja-lisäaineet	30
5.3.7. Dolomiitti-fluksatut pelletit	31
5.4. Kylmä- ja arinapermeabiliteetti	36
6. KOSTEUS	37
6.1. Kondensoituminen	43
7. PATJAN KORKEUS	44
8. PELLETTISINTRAUS	46
8.1. Mineraloginen rakenne ja ominaisuudet	54
8.2. Hybridi pellettisintterin (HPS) kaupalli- nen tuotanto Fukuyaman tehtailla	56
8.2.1. HPS-laitoksen prosessi ja laitteet	58
8.2.2. HPS-laitoksen teollinen toiminta	60
8.2.3. Masuunin toiminta HPS:n kanssa	63

KOKEELLINEN OSA	66
9. LAITTEISTO	66
9.1. Sintrausseoksen valmistus	66
9.2. Pelletointilaitteisto	66
9.3. Sintrauslaitteisto	68
9.4. Testilaitteisto	69
9.4.1. Pudotusmurskain	69
9.4.2. Rumpulujuustesti	70
9.4.3. Isoterminen pelkistyvyystesti IDR 40	72
9.4.4. Pelkistyslujuus	72
9.4.5. Korkean lämpötilan puristus-pelkistystesti	72
10. MATERIAALIT JA MENETELMÄT	73
10.1. Pelletointiseoksessa käytetyt materiaalit	73
10.1.1. Lisäaineet	75
10.2. Pellettisintrausprosessin kuvaus	75
11. TULOKSET	78
11.1. Pelletointikokeet	78
11.1.1. Pudotus- ja puristuslujuuskokeet	79
11.2. Pellettisintrauskokeet	86
11.2.1. Makro- ja mikrorakenne	90
12. YHTEENVETO	92
KIRJALLISUUS	97
LIITTEET	

KIRJALLINEN OSA

1. JOHDANTO

Rautarikasteiden agglomerointi ennen masuuniin panostamista on välttämätöntä masuunin permeabiliteetin säilymisen kannalta. Perinteiset agglomeroititavat ovat sintraus ja pelletointi, joilla molemmilla on omat etunsa ja haittansa. Sintterillä saavutetaan parempi pelkistyyvyys kuin pelleteillä ja sen panostaminen masuuniin halutulla tavalla on helpompaa kuin pellettien. Pelletoinnissa voidaan puolestaan käyttää hyväksi raekooltaan huomattavasti hienompia raaka-aineita kuin sintrauksessa ja lisäksi pelletointiprosessin saanti on selvästi korkeampi kuin sintrausprosessin.

Tämän työn kirjallisessa osassa on selvitetty sintraukseen ja pelletointiin vaikuttavia olosuhteita ja lisäaineita sekä kerrottu tarkemmin Japanissa kehitetystä HPS-prosessista (Hybrid Pelletized Sinter) eli pellettisintrauksesta. Tässä prosessissa on pyritty yhdistämään sekä sintrauksen että pelletoinnin hyvät puolet. HPS-prosessissa valmistetaan halkaisijaltaan 5-10 cm olevia pellettejä, jotka sintrataan normaalin sintrauskoneen arinalla. Tällöin sintteripatjan permeabiliteetti paranee ja tästä johtuen voidaan paloaikaa lyhentää tai imutehoa pienentää ja täten parantaa tuottavuutta. Toinen saavutettava etu on palautemäärän pieneminen.

Työn kokeellisessa osassa on tutkittu HPS-menetelmän soveltuvuutta pohjoismaissa käytettävälle magnetiittirikasteelle ja Rautaruukki Oy:n sintrauskäytännölle. Kokeet suoritettiin Rautaruukki Oy:n koesintraamolla Raahessa laboratoriomittakaavaisella koelaitteistolla.

2. SINTRAUKSEN JA PELLETOINNIN PINTA- JA KOLLOIDIKEMIAALLISTA TAUSTAA

Pellettien ja mikropellettien muodostumisessa tapahtuvat reaktiot perustuvat pinta- ja kolloidikemiallisiin ilmiöihin. Tämän vuoksi on syytä hieman tarkastella näiden ilmiöiden perusteita ja luonnetta.

Yleisesti kolloidistabiilisuustutkimukset kohdistuvat partikkelien välisiin vuorovaikutuksiin, siihen miten näihin voimiin voidaan vaikuttaa ja miten näiden voimien summa vaikuttaa systeemin makroskooppisiin ominaisuuksiin. /1/

Partikkelien välillä esiintyy kolmen tyyppistä vuorovaikutusta: Van der Waals-, elektrostaattinen ja steerinen vuorovaikutus. Pinta- ja kolloidikemia pyrkii määrittämään, kuinka nämä vuorovaikutusvoimat riippuvat sellaisista parametreista kuten partikkelien luonne, pintojen varaus, liuoksen koostumus, lämpötila, partikkelien koko ja muoto jne. Partikkelien välimatkan vaikutus vuorovaikutukseen on erityisen kiinnostuksen kohde. /1/

Edellä mainittujen fysikaalisten vuorovaikutusvoimien sekä partikkelien pintaan liittyvien parametrien lisäksi yleinen käytäntö vuorovaikutuksen kuvaamiseen on käyttää vapaaenergia-etäisyys-diagrammeja. Vapaaenergian (V) ollessa positiivinen on kyseessä poistovoima ja V :n ollessa negatiivinen vetovoima. /1/

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{vdW}} + V_{\text{el}} + V_{\text{steer}} \quad (1)$$

Kuvassa 1 on esitetty partikkelien välisiä vuorovaikutuksia vapaaenergia-etäisyys-diagrammeilla.

Kuvan 1a tilanteessa partikkelit liittyvät toisiinsa sille etäisyydelle asti, jossa käyrä saavuttaa miniminsä (V_{min}). Jos käyrän primääriminimi on tarpeeksi negatiivinen,

on yhdistyminen irreversiibeli. Lyhyemmillä etäisyyksillä alkaa V_{tot} kasvaa nopeasti johtuen lyhyiden etäisyyksien poistovoimasta. /1/

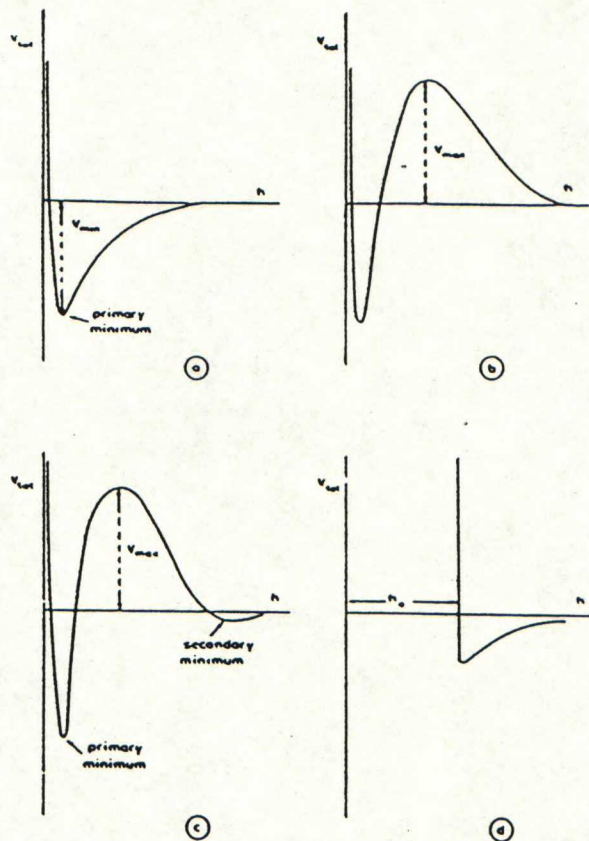


Fig. 1. - Some typical diagrams for the interaction between particles and/or droplets

Kuva 1. Tyypillisiä vapaaenergia-etäisyys-diagrammeja partikkelien välisille vuorovaikutuksille /1/

- Van der Waals-voima: erittäin suuri poistovoima hyvin pienillä etäisyyksillä.
- Van der Waals-vetovoima + elektrostaattinen poistovoima
- Hyvin suurilla partikkeleilla esiintyy sekundääriminimi
- Van der Waals-vetovoima + steerinen poistovoima

Kuvan 1b vuorovaikutuskäyrällä ulottuu puoleensavetävä osa suhteellisen lyhyelle etäisyydelle ja poistovoima vaikuttaa suuremmilla etäisyyksillä. Jos maksimi poistovoima $V_{\max} \gg kT$, niin terminen energia ei riitä ylittämään tätä kynnystä. V_{\max} :n ollessa vain muutaman kerran suuremman kuin kT johtaa osa partikkelien yhteentörmäyksistä yhteenliittymiseen. Tällöin on kyse hitaasta kasvusta; mitä korkeampi V_{\max} sitä hitaampi kasvu. Se, onko prosessi reversiibeli vai irreversiibeli, riippuu primääriminimin syvyydestä. /1/

Kuvaaja 1c muistuttaa muodoltaan kuvaajaa 1b, mutta siinä esiintyy sekundääriminimi suurilla etäisyyksillä. V_{\max} :in ollessa suuri esiintyy taipumusta spontaaniin liittymiseen. Tällöin partikkelit jäävät suhteellisen kauas toisistaan ja sidos on löysä. Partikkelit irtoavat toisistaan jo kevyesti ravistamalla. /1/

Kuvan 1d tapauksessa poistovoima on h_0 :a pienemmillä etäisyyksillä niin suuri, että sitä voidaan pitää käytännön kannalta äärettömänä. /1/

Kuvassa 1 esitetyn kaltaiset diagrammit ovat pohjana selvittäessä koloidi-stabiilisuutta yleisesti ja sintrautumista erityisesti. Diagrammi voidaan piirtää mikäli vuorovaikutuksen luonne tunnetaan ja sen suuruus voidaan mitata. /1/

Kuvasta 2, jossa on esitetty partikkelikoon vaikutus V_{\max} :in ja sekundääriminimiin, nähdään, että raekoon kasvaessa V_{\max} kasvaa ja sekundääriminimi syvenee. Tämä viittaa siihen, että partikkelien liittymistä toisiinsa sekundääriminimissä tapahtuu erityisesti suuremmilla partikkeleilla. /1/

Polymeerien lisäyksellä on usein ratkaiseva merkitys partikkelien välisiin vuorovaikutuksiin. Polymeerit voivat edistää partikkelien liittymistä toisiinsa kahdella mekanismilla: 1. tekemällä partikkelit vastaanottavaisemmiksi suoloille, tai 2. yhdistämällä partikkeleita ilman elektolyyttien apua. Näitä tapoja kutsutaan herkistämiseksi ja adsorptiohiutaloitumiseksi. Jälkimmäinen tapa on yleisempi. /1/

Kuvat 3 ja 4 osoittavat flokkulanttien toimintaa. Kuvassa 3 on polymeeri kostutta

nut kaikkien partikkelien pinnat. Kuvassa 4 on sekoitettu toisiinsa kahta eri fraktiota, joista vain toinen sisältää polymeeria. /1/

Kuva 5 osoittaa kuinka elektrolyytin konsentraatio vaikuttaa energiaan (V_{tot}). Voidaan havaita, että lisäämällä suolaa systeemi muuttuu stabiilista hitaasti agglomeroituvaksi ja edelleen nopeasti agglomeroituvaksi. /1/

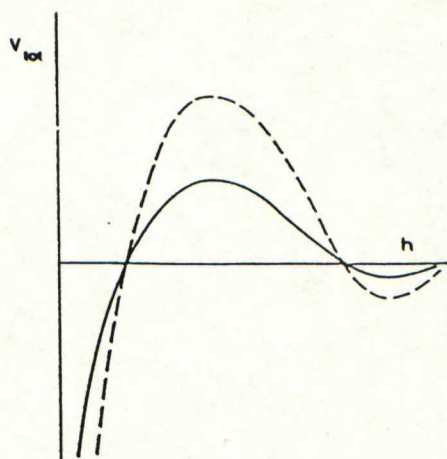


Fig. 8. - Influence of particle radius on interaction.
 — smaller particles
 --- bigger particles

Kuva 2. Partikkelikoon vaikutus vuorovaikutukseen /1/

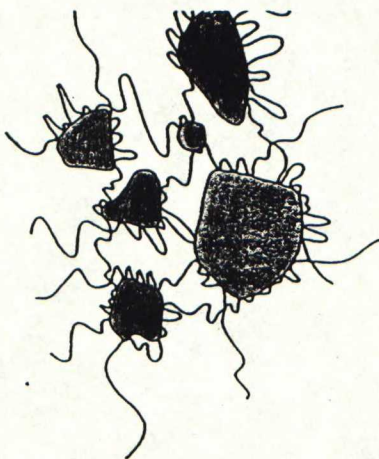


Fig. 9. - Flocculation of particles by polymers. First stage. Upon time longer trains can develop.

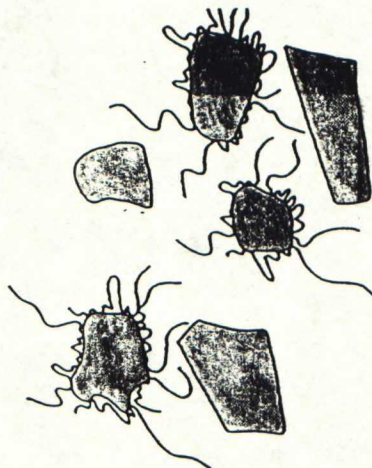


Fig.10. - Aggregation between covered and uncovered fractions (the fractions need not consist of the same material).

Kuva 3. Polymeeri kostuttaa kaikkien partikkelien pinnat /1/

Kuva 4. Osa partikkeleista ilman polymeeria /1/

Kuvan 6 mukaisesti alkaa V_{steer} vaikuttaa vasta suolaa lisättäessä. Kuvan kaltainen tilanne syntyy kun Van der Waals vuorovaikutus on pieni steeriseen vuorovaikutukseen verrattuna.

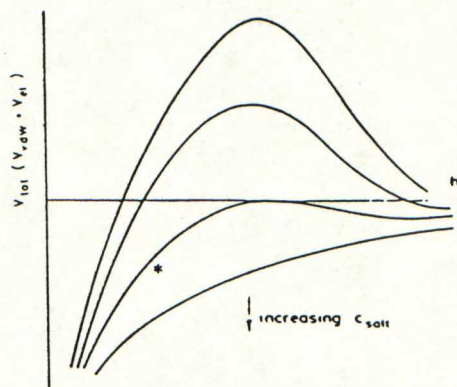


Fig. 7. - Influence of the electrolyte concentration on the total interaction ($V_{\text{el}} + V_{\text{vdW}}$) between two colloidal particles.

Kuva 5. Elektrolyytin konsentraation vaikutus /1/

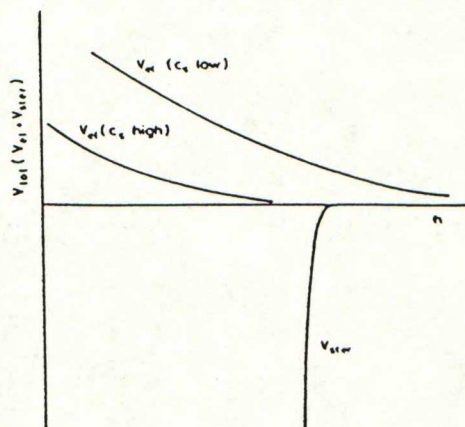


Fig.12. - Interaction of covered and uncovered particles

Kuva 6. Suolan lisäyksen vaikutus /1/

Edellä esitetyt tulokset tarjoavat perusperiaatteet sintrautumiselle. Ottamalla huomioon muutettavissa olevat tekijät sekä kontrolloimalla prosessia voidaan näitä periaatteita käyttää toivottavien tulosten saavuttamiseksi. /1/

3. SINTRAUS

Rautarikaste sellaisenaan on liian hienoa syötettäväksi masuuniin, koska se tukkisi masuunin ja estäisi pelkistävien kaasujen läpivirtauksen. Tämän vuoksi täytyy rikaste sitoa suuremmiksi partikkeleiksi eli agglomeroidea. Tämä prosessi tapahtuu sintraamossa, missä ennalta sekoitettu rikaste, kalkki, polttoaineena käytettävä kooksi ja lisäaineet panostetaan sintrauskoneen arinalle. Sintrauskone voi olla joko panosperiaatteella toimiva tai jatkuvatoiminen, joista jatkuvatoiminen nauhasintraamo on nykyään yleisempi.

Rikaste, lisäaineet, seosaineet ja kooksi sekoitetaan sekoitusrummussa. Tämän jälkeen materiaali johdetaan mikropelletointirumpuun jossa myös tarvittava kosteus lisätään. Valmis mikropelletoitu seos panostetaan sintrauskoneen arinalle, joka jatkuvatoimisessa koneessa on liikkuva nauha. Panostetun patjan paksuus vaihtelee tavallisesti välillä 300 - 600 mm, mutta myös paksumpia patjoja on käytetty. Patja kulkee ensin sytytyskehän ali. Sytytyskehä on polttimilla varustettu läpityöntouuni, jossa seoksessa oleva polttoaine sytytetään ylhäältäpäin. Samanaikaisesti imetään ilmaa patjan läpi alhaaltapäin, jolloin palorintama etenee patjan läpi ylhäältä alaspäin. Palorintaman kohdalle muodostuu sulafaasi, joka jähmettyessään sitoo rikastepartikkelit toisiinsa suuremmiksi agglomeraateiksi, joita voidaan käyttää masuunin syötteenä.

4. PELLETIN MUODOSTUMISMEKANISMI

Pelletin muodostuminen edellyttää kiinteän faasin lisäksi nestemäisen faasin läsnäoloa. Syntyvillä pintojen välisillä voimilla on koheesiovaikutus kiinteisiin partikkeleihin, nesteeseen ja ilmaan. Nämä pintojen väliset voimat koostuvat toisaalta sideaineen, tavallisesti veden, pintajännityksestä sekä toisaalta partikke-

lien välille muodostuvien nestesiltojen kapillaarivoimasta. Nämä voimat aiheuttavat partikkeleiden välille jo tiettyä vetolujuutta. Pintajännityksestä aiheutuvat voimat saavat aikaan sisäänpäin kaartuvan nestepinnan aiheuttaen puristuslujuutta. /2/

Valmistustavasta riippuen syöte on joko kuivaa tai kosteaa, vastaten kuivajauhatus- ja märkäjauhatustapoja. Kosteaa rikaste on näistä yleisempi. Partikkelin joutuessa kosketuksiin veden kanssa kostuu sen pinta. Partikkelin pinnalle muodostuu vesikalvo kuvan 7A osoittamalla tavalla. /2/

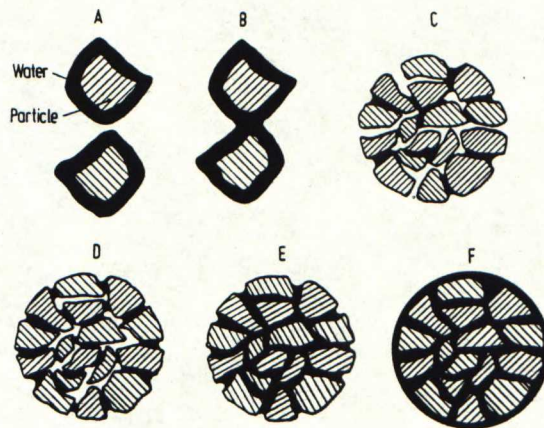


Fig. 12. Influence of water addition on green ball formation

Kuva 7. Veden vaikutus pelletoinnissa /2/

Kun kostuneet partikkelit koskettavat toisiaan, syntyy pintajännityksen vuoksi nestesiltoja partikkelien välille, kuva 7B. Ensimmäiset agglomeraatit muodostuvat partikkelien liikkeen ja veden vaikutuksesta, kuva 7C. Löyhästi pakkautuneen agglomeraatin sisäosiin muodostuvat ensimmäiset nestesillat. Partikkelin sisällä on tässä vaiheessa runsaasti huokoisuutta. Lisättäessä vettä agglomeraatti tiivistyy, vettä kerrostuu agglomeraatin sisälle ja tyhjän tilan osuus pienenee, kuva 7D. Tässä vaiheessa yksittäisten nestesiltojen kapillaarivoimat ovat olennaisen merkittävät. Tämän pelletointivaiheen optimi saavutetaan kun vesi täyttää kaikki agglomeraatin sisäiset huokokset, mutta ei vielä peitä agglomeraatin ulkopintaa (kuva 7E). Kapillaarivoimien vaikutus havaitaan selvästi kuvasta 8. /2/

Ulkohuokosiin muodostuvien, sisäänpäin kaarevien nestepintojen aiheuttama kapillaarivoima pitää kiinteät partikkelit yhdessä. Tämä optimivaihe ohitetaan, jos vesikalvo peittää partikkelit kokonaan, kuva 7F. Tällöin kiinteitä partikkeleita sisältävän veden pintajännitys tulee täysin aktiiviseksi ja kapillaarivoiman vaikutus putoaa nopeasti, kuva 9. /2/ Myös sintrauksessa kosteuden säätämiseksi käytetyn veden lämmittämällä on todettu olevan vaikutusta sen kykyyn sitoa partikkeleita. /3/

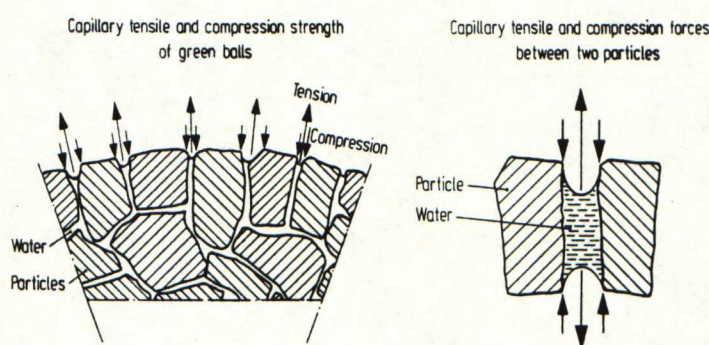


Fig. 13. Influence of capillary forces on bonding mechanism

Kuva 8. Kapillaarivoimien vaikutus sidontamekanismeissa /2/

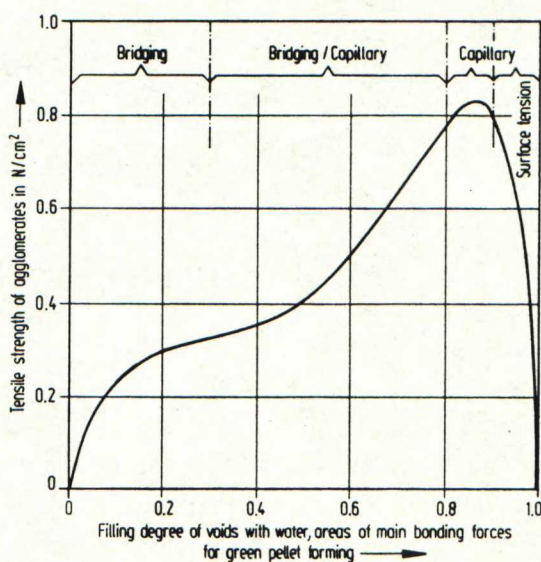


Fig. 135. Influence of water filling degree of capillaries on tensile strength during green ball formation, raw material: limestone, $\varepsilon = 0.41$

Kuva 9. Vesimäärän vaikutus agglomeraatin vetolujuuteen /2/

Partikkeleiden liikkeellä toisiaan vasten sekä rullauksella pelletointirummussa tai lautasella on myös suuri merkitys pelletin muodostumiselle. Nämä liikkeet lisäävät adheesiota saattamalla partikkeleita enemmän kontaktiin toistensa kanssa ja samanaikaisesti puristamalla partikkeleita toisiaan vasten. Kuitenkin näillä paineesta ja liikkeestä aiheutuvilla voimilla voi olla myös negatiivisia vaikutuksia. Ne murtavat agglomeraatteja jotka eivät vielä ole saavuttaneet riittävää mekaanista lujuutta ja jotkut rakeet saattavat jopa jauhautua pienemmiksi. /2/

Ideaalisen pellettoitumisen lisäksi tapahtuu käytännössä samanaikaisesti muunlaistakin pelletin kasvua, kuva 10. /2/

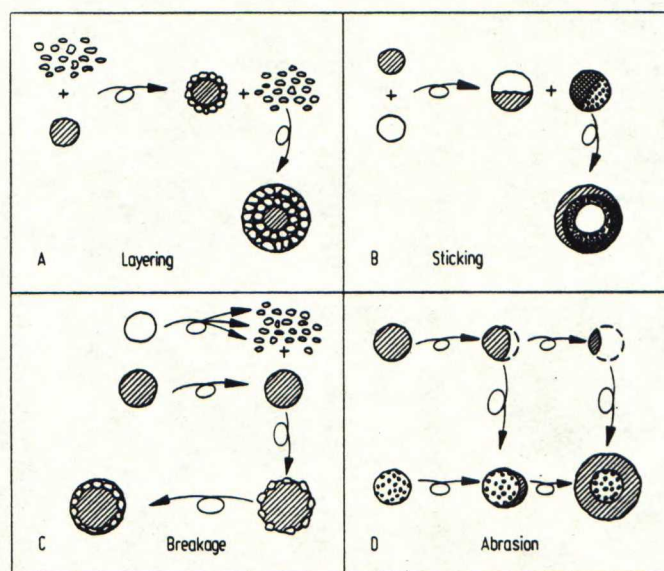


Fig. 14. Alternatives for green pellet formation

Kuva 10. Vaihtoehtoja märän pelletin muodostumiselle /2/

- A. Erittäin hienojen partikkeleiden kerrostuminen toistensa päälle.
- B. Liikkeen ja paineen seurauksena tapahtuva, jo muodostuneiden pienten pellettien liittyminen toisiinsa.
- C. Hajonneiden pellettien osasten kerrostuminen ehjiin pelletteihin.
- D. Heikommista pelleteistä hankautuneiden partikkelien tarttuminen vahvempien pellettien pinnalle.

Sellaista partikkelia, jossa karkeamman ytimen ympärille on tarttunut hienompia partikkeleita veden aiheuttaman adheesiovoiman vaikutuksesta, kutsutaan kvasipartikkeliksi, kuva 11.

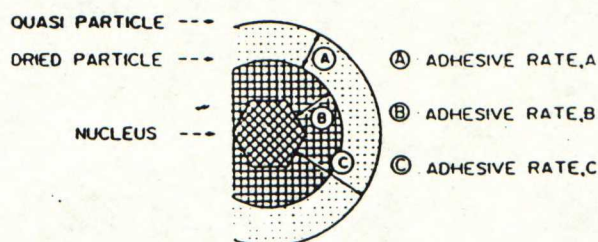


Figure 4. Configuration of quasi-particle

Kuva 11. Kvasipartikkelin rakenne /3/

Kvasipartikkeli koostuu kuvan 11 osoittamalla tavalla kolmesta kerroksesta. Keskimmäinen kerros muodostuu hienoista partikkeleista jotka kiinnittyvät ytimeen. Tämä kerros harvoin hajoaa lämpöshokin vaikutuksesta kuten uloimmalle kerrokselle helposti tapahtuu. Palamisrintaman kulkiessa patjan läpi kvasipartikkelit murtuvat ja permeabiliteetti heikkenee. /3/

Hyvän permeabiliteetin ja hyvän tuottavuuden saavuttamiseksi tulisi kvasipartikkeleiden koon ja lujuuden olla sellaisia, etteivät ne hajoaisi lämpöaallon vaikutuksesta. Tutkimuksissa on todettu, että kun pelletin halkaisija ylittää 9 mm, muodostuu kuivatuksessa ja poltossa niin suuri lämpötilaero pelletin pinnan ja ytimen välille, että ne hajoavat helposti lämpöshokin vaikutuksesta. /3/

Kuva 12 osoittaa, että n. 95 % tarttuvista partikkeleista on halkaisijaltaan < 0,5 mm.

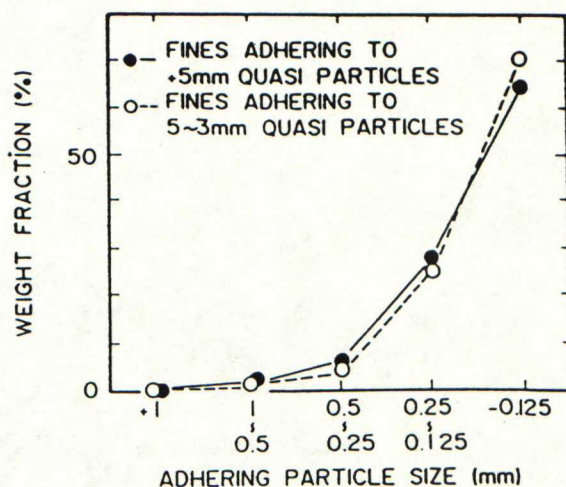


Figure 6. Size distribution of adhering particles

Kuva 12. Tarttuvien partikkelien kokojakauma. /3/

5. PERMEABILITEETTI

Patjan permeabiliteetilla on ratkaiseva merkitys sintrauksen onnistumiseen ja käytettävän sintteripatjan paksuuteen. Permeabiliteetti ratkaisee myös hyvin pitkälti sen, kuinka suuri on imureiden tehonkulutus. Tästä johtuen permeabiliteetti on avainsana niin tuotantomääristä kuin tuotannon taloudellisuudestakin puhuttaessa.

Sintrauksen aikana pyritään johtamaan tasainen, kuuma kaasuvirtaus kylmän patjan läpi. Kaasun virratessa patjan läpi massanopeudella G ($\text{kg/m}^2\text{s}$) päästään parhaaseen tuottavuuteen maksimoimalla G . G :n määrä on puolestaan riippuvainen patjan huokoisuudesta ja pinnan laadusta eli patjan permeabiliteetista. /4/

5.1. PARTIKKELIKOON JA RAAKA-AINEOMINAISUUKSIEN VAIKUTUS PERMEABILITEETTIIN

Partikkelikoon ja raaka-aineominaisuuksien vaikutusta permeabiliteettiin on tutkittu Japanissa. Kokeet on suoritettu viidellä Japanissa yleisesti käytetyllä rikasteella, joiden ominaisuudet on annettu taulukossa 1. /5/

Taulukko 1. Kokeissa käytettyjen rikasteiden ominaisuudet /5/

Table 1. Chemical composition and size distribution of raw materials

Materials	Chemical composition (Z)									Size distribution (Z)						
	T.Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	C.V	+7 $\frac{\mu}{m}$	7-5	5-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	-0.125
Ore A	62.0	0.1	4.3	2.9	0.1	0.4	0.2	1.2	8.1	10.2	22.2	14.0	10.4	5.6	12.2	17.3
" B	61.3	0.1	6.3	2.8	0.1	0.5	0.2	1.5	8.9	9.4	25.1	17.3	12.0	8.2	9.7	9.4
" C	64.7	0.1	4.5	0.6	0.1	0.5	0.2	0.7	10.9	6.6	14.2	9.7	7.0	2.6	13.2	35.9
" D	64.9	21.9	3.6	0.4	1.0	0.5	0.1	0.4	0	0	3.4	12.2	25.8	19.9	19.5	19.3
" E	57.3	0.1	6.3	3.4	0.1	0.7	0.8	8.1	10.5	12.6	24.1	17.8	12.8	10.2	10.1	1.9
Return	53.3	8.3	7.2	2.0	11.0	2.5	0.9	0.1	0.9	10.7	51.7	17.9	9.3	4.3	3.6	1.6
Lime Stone	0.1	0.1	1.1	0.2	57.6	1.2	0	0	0	0.5	26.8	21.8	11.2	5.1	7.4	27.2
Coke	2.4	1.3	6.3	3.3	0.8	0.4	0.3	1.3	3.6	3.6	12.9	14.1	16.6	13.3	21.4	14.5

Rikaste A seulottiin neljään fraktioon: 0,5 mm, 0,8 mm, 1,45 mm ja 2,15 mm. Näille fraktioille suoritettun permeabiliteettikokeen tulokset on annettu kuvassa 13. Todettiin, että granuloitujen partikkelien koko on riippuvainen raaka-aineen partikkelikoosta ennen granulointia. Nähdään myös, että mitä suurempi on partikkelikoko ennen granulointia, sitä pienempi vesimäärä tarvitaan granuloinnin alkamiseen. /5/

Toisessa kokeessa kaikki viisi rikastelaatua seulottiin samaan fraktioon (0,5 mm) ennen granulointia ja granuloinnin jälkeen testattiin partikkelikoko ja permeabiliteetti. Tulokset on esitetty kuvassa 14. /5/

Havaitaan, että vaikka partikkelien kokojakauma eri rikasteilla on sama, niin granulointikäyttäytyminen ja permeabiliteetti poikkeavat toisistaan. Tämä johtuu erilaisista vuorovaikutuksista rikasteen ja veden välillä. Erilaisen granuloitumisen samalla vesipitoisuudella arvellaan johtuvan erilaisesta veden absorboitumisesta eri rikasteilla. /5/

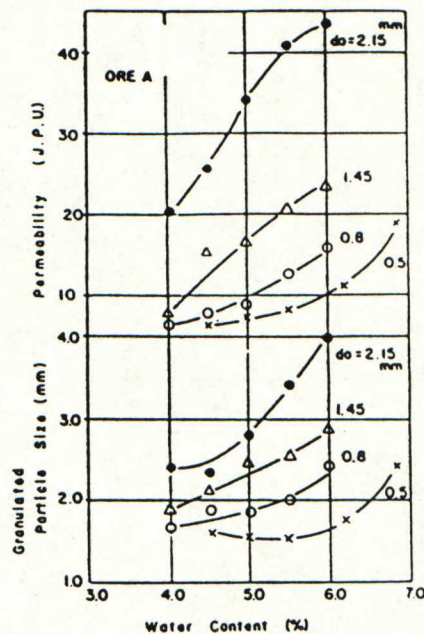


Fig.4 Influence of the particle size on granulation and bed-permeability

Kuva 13. Partikkelikoon vaikutus granulointiin ja permeabiliteettiin /5/

Kun granulointikäyriä sopivasti siirretään pitkin vesipitoisuusakselia, ne saadaan yhdistettyä yhdeksi käyräksi, kuva 15. Tällöin siirtokerroin kuvaa rikasteeseen absorboitunutta vesimäärää ja vaaka-akselilta saadaan granulointiin tarvittava vesimäärä. /5/

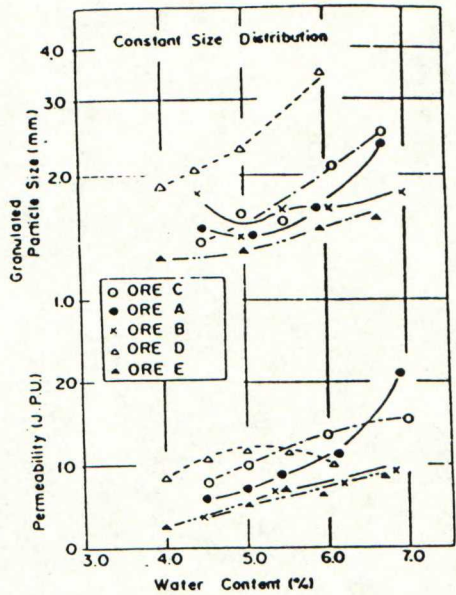


Fig.5 Influence of property of raw material on granulation and bed-permeability

Kuva 14. Raaka-aineen ominaisuuksien vaikutus granulointiin ja permeabiliteettiin /5/

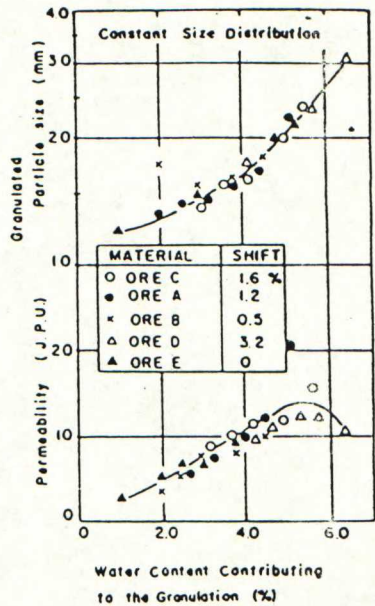


Fig.6 Arrangement of the water content shifted along the horizontal axis

Kuva 15. Käyrät yhdistetty. Rikastetta E on käytetty standardina. /5/

Kuvasta 16 nähdään, kuinka erilainen permeabiliteetin ja vesipitoisuuden suhde on eri rikasteilla. Erityisesti rikasteilla C ja D on alhainen permeabiliteetti, kun vesipitoisuus on yli 5 %. Kuvassa 18 on esitetty permeabiliteetin ja tyhjän tilan välinen suhde ja kuva 19 osoittaa partikkelikoon ja vesipitoisuuden vaikutuksen permeabiliteettiin.

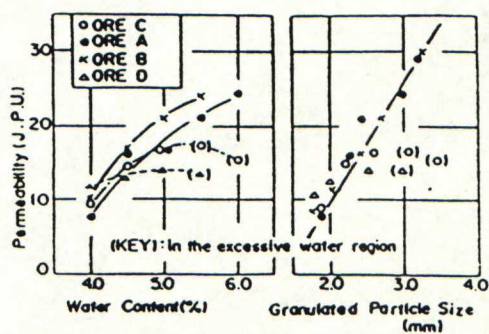


Fig.7 Combined influence of the particle size and the property of raw material on granulation and bed-permeability

Kuva 16. Partikkelikoon ja raaka-aineen vaikutus permeabiliteettiin /5/

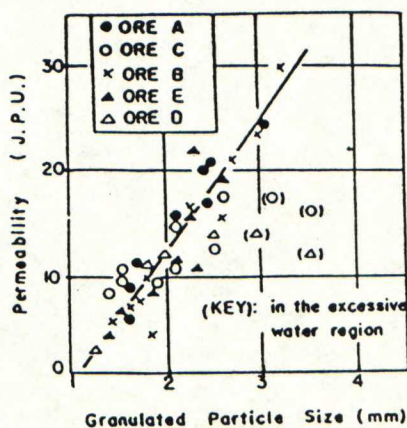


Fig. 9 Relationship between with the bed-permeability and the granulated particle size

Kuva 17. Permeabiliteetin ja partikkelikoon välinen suhde /5/

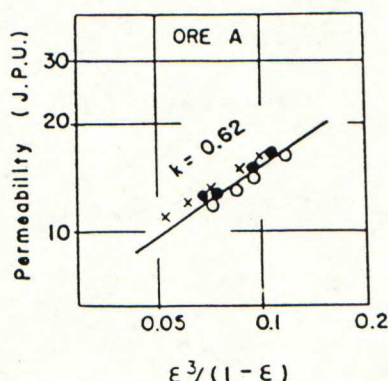


Fig. 11 Relationship between permeability and voidage

Kuva 18. Permeabiliteetin ja tyhjän tilan välinen suhde /5/

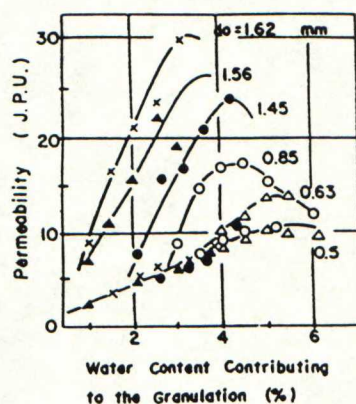


Fig. 8 Combined influence of the particle size and the water content contributing to the granulation on the bed-permeability

Kuva 19. Partikkelikoon ja vesipitoisuuden vaikutus permeabiliteettiin /5/

5.2. MIKROPELLETOINTI/PELLETOINTI

Mikropelletoinnin onnistumisella on suuri merkitys permeabiliteetin kannalta. Mikropelletoinnilla pyritään lähinnä veden avulla sitomaan rikastepartikkeleista pieniä, n. 3 - 5 mm halkaisijaltaan olevia mikropellettejä. Mikropelleteillä pyritään parantamaan patjan permeabiliteettia.

Mikropelletointi tapahtuu tavallisesti pelletointirummussa, jonka toisesta päästä syötetään hienoksi jauhattu rikaste sisään ja toisesta päästä otetaan sekoittuneet ja mikropelletoituneet partikkelit ulos. Rummun sisällä seokseen lisätään vettä kosteuden säätämiseksi sekä partikkelien sitomiseksi toisiinsa.

Käytännössä mikropelletoinnin onnistuminen ei kuitenkaan ole aivan itsestään selvä asia. Kuten aiemmin on esitetty, on käytetyn veden määrän oltava optimi jotta saadaan paras mahdollinen lujuus pelletteihin. Mikropellettien tulee kestää mekaanista rasitusta, kun seosta kuljetetaan pelletointirummulta sintrauskoneelle. Rasitusta aiheuttavat mm. hankautuminen toisia partikkeleita vasten, putoamiset ja törmäykset sekä toisten partikkeleiden aiheuttama paine. Mikropellettiin kohdistuu myös voimakas lämpöshokki palamisen aikana. /3/

Mikropellettien lujittamiseksi on kokeiltu kuuman (80°C) veden ruiskutusta. Menetelmällä on saavutettu hyviä tuloksia yhdessä poltetun kalkin kanssa. Kuuman veden käyttö aloitettiin vuonna 1980 ja sen käyttöönotto nosti tuotantoa 7 % Fukuyaman sintraamalla Japanissa. /3/

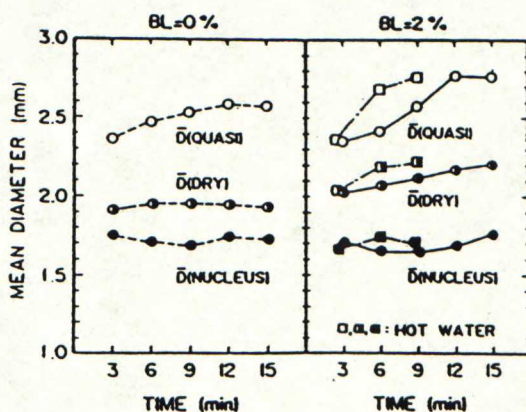


Figure 12. Effect of granulating time on mean diameter of raw mixture

Kuva 20. Poltetun kalkin, kuuman veden käytön ja granulointiajan vaikutus mikropellettien halkaisijaan /3/

Kuvassa 20 on esitetty kuuman veden vaikutusta mikropellettien halkaisijaan ja kuva 21 havainnollistaa granulointiajan vaikutusta kylmäpermeabiliteettiin.

Kuuman veden on havaittu olevan tehokasta saattamaan kvasipartikkelit haluttuun muotoon. Veden lämmittämiseen käytetään sintterin jäähdyttimestä saatavaa kuumaa kaasua. Kaavakuva laitteistosta on esitetty kuvassa 22. Vettä käytetään 25.000 kg/h. /3/

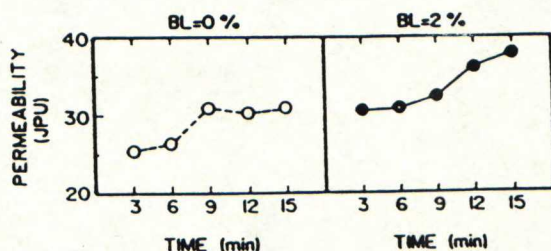


Figure 13. Relationship between granulating time and permeability of raw mixture

Kuva 21. Granulointiajan vaikutus raa'an seoksen permeabiliteettiin /3/

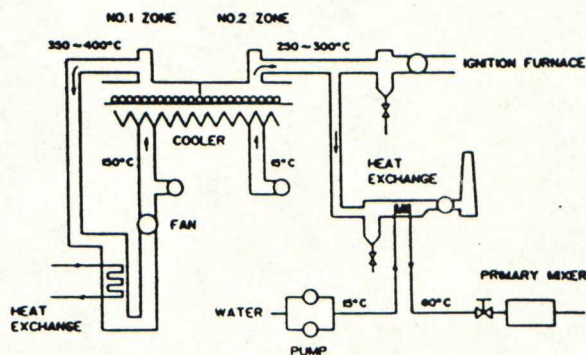


Figure 16. Schematic diagram of hot water sprinkling facility

Kuva 22. Kuumavesilaitteiston kaavakuva /3/

Lisäämällä seokseen poltettua kalkkia mikropelletointivaiheessa, voidaan minimoida mikropelletin kuivamisvaiheessa irtoavien hienojen partikkelien määrä. /3/

Kuvasta 23 havaitaan poltetun kalkin vaikutus partikkelien halkaisijaan lisättäessä kalkkia 1 - 5 %.

Ytimen halkaisija pysyy muuttumattomana riippumatta poltetun kalkin määrästä. Sitä vastoin kvasipartikkelin halkaisija kasvaa jonkin verran 2 %:n lisäykseen asti, minkä jälkeen kasvu lakkaa. Kuiva partikkeli kasvaa koko ajan, varsinkin 2 %:n lisäykseen asti. /4/

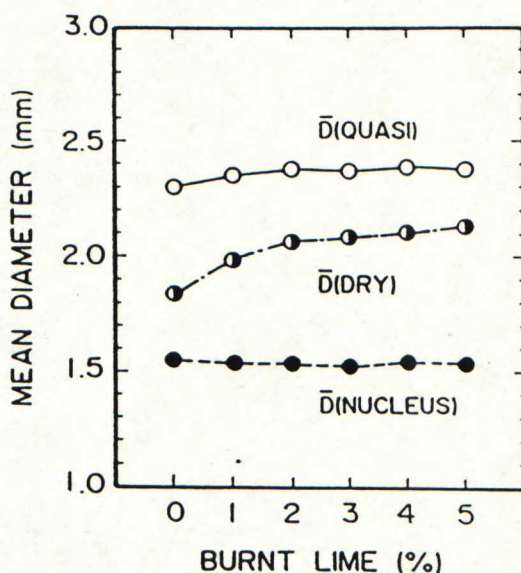


Figure 7. Effect of burnt lime on mean diameter of raw mixture

Kuva 23. Poltetun kalkin vaikutus raa'an seoksen partikkelikokoon /3/

Kuva 24 osoittaa poltetun kalkin vaikutuksen adheesioasteeseen.

Kuvassa 27 on esitetty poltetun kalkin vaikutus sintterin laatuun.

Kokeessa käytetyn raa'an seoksen kosteus oli 5,9 % ja seoksen koostumus: 87 % rikastetta ja 13 % kalkkikiveä. Palautteen määrä oli 30 % ja koksimumurkaa käytettiin 4 %. /3/

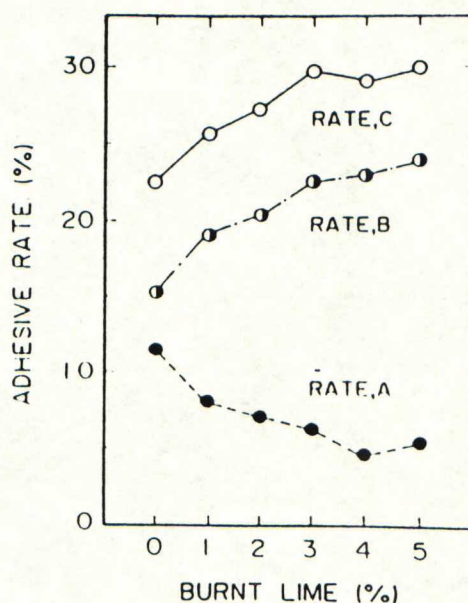


Figure 8. Effect of burnt lime on adhesive rate.

Kuva 24. Poltetun kalkin vaikutus adheesioasteeseen /3/

A, B ja C esitetty kuvassa 11

Granulointiajan vaikutusta tutkittiin sekä ilman poltettua kalkkia että 2 %:n poltetun kalkin lisäyksellä. Granulointiajat olivat 3, 6, 9, 12 ja 15 minuuttia. 2 %:n poltetun kalkin lisäyksellä käytettiin kuumaa vettä kalkin hydratoitumisreaktion edistämiseksi sekä kosteuden säätämiseksi, kuvat 21 ja 22. /3/

Kuvissa 25 ja 26 on esitetty NKK Fukuyaman sintraamon ajotuloksia ennen ja jälkeen poltetun kalkin käyttöä sekä erilaisilla poltetun kalkin määrillä.

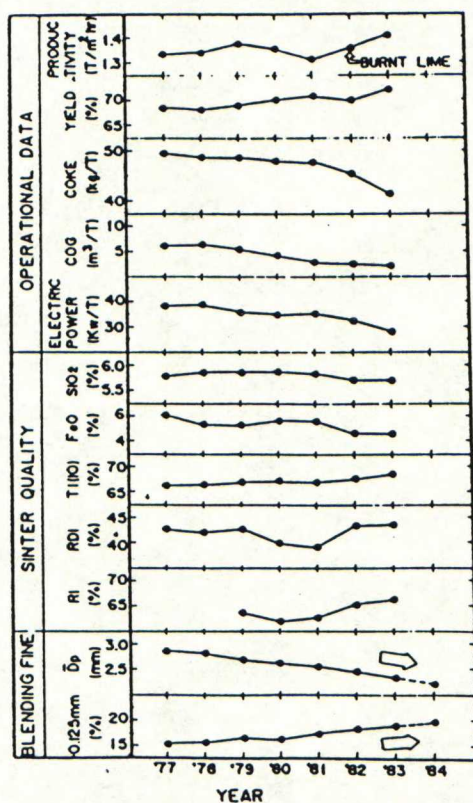


Figure 1. Transit of sinter operation in Fukuyama Works

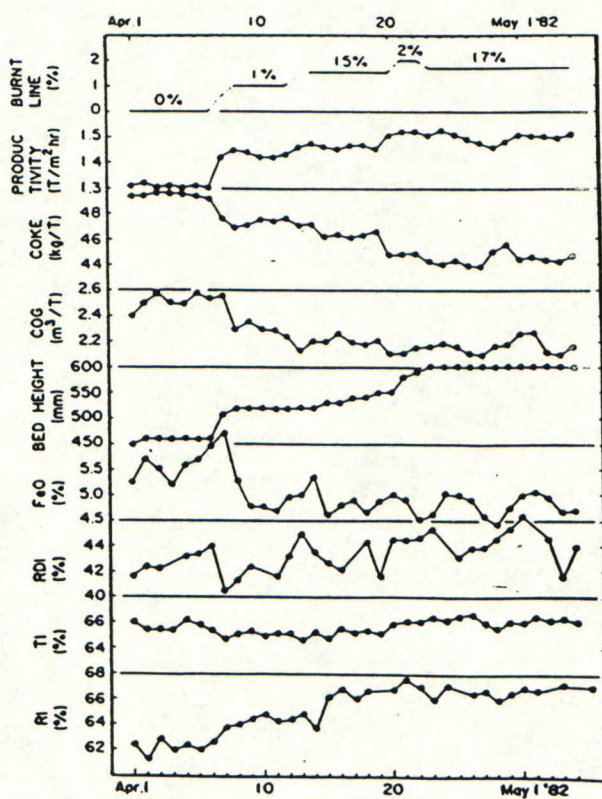
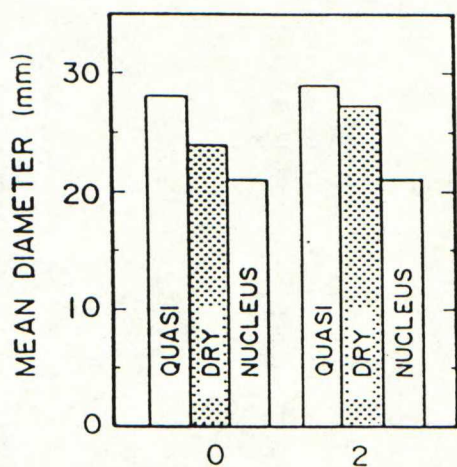
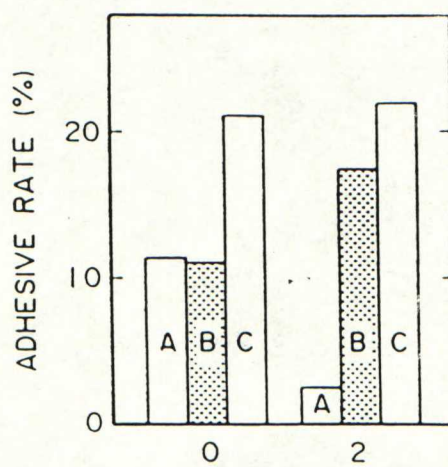


Figure 15. Transit of sinter operation before and after burnt lime addition at Fukuyama No.5 SP

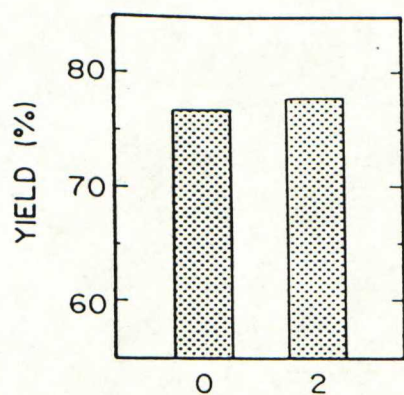
Kuvat 25. ja 26. Ajotuloksia NKK Fukuyaman sintraamolta /3/



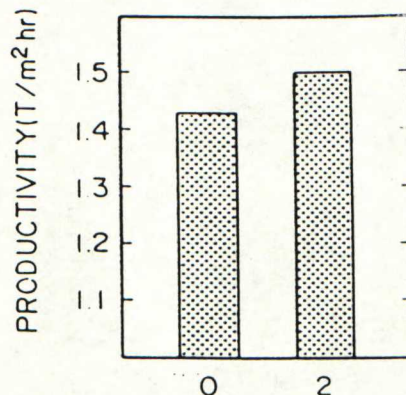
11-a) Mean diameter



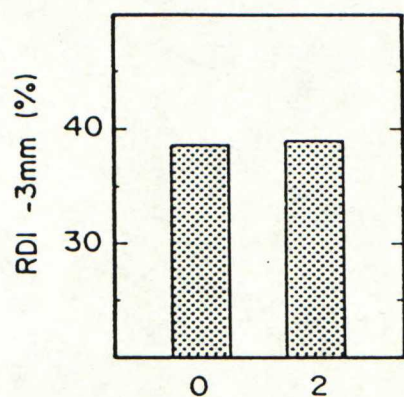
11-b) Adhesive rate



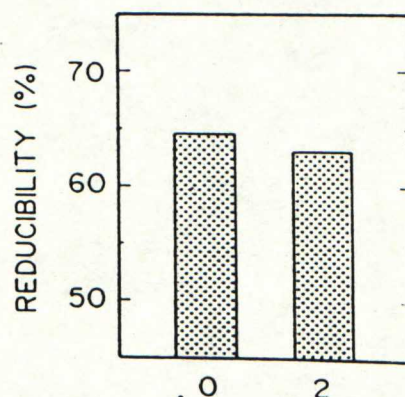
11-c) Yield



11-d) Productivity



11-e) RDI-3 mm



11-f) Reducibility

Figure 11. Effects of burnt lime addition on sinter qualities.

Kuva 27. Poltetun kalkin vaikutus sintterin laatuun /3/

5.3. LISÄAINEET

Yleensä mikropelletoinnissa käytetään partikkelien sitomiseen ainoastaan vettä. Mikropellettien ja pellettien lujuuden lisäämiseksi sekä permeabiliteetin parantamiseksi on kehitetty joukko lisäaineita.

Lisäaineet ovat tyypiltään sekä orgaanisia että epäorgaanisia. Epäorgaaniset sideaineet ovat erityyppisiä savia, alkaliyhdisteitä ja suoloja. Ne parantavat pellettien lujuusominaisuuksia, mutta eivät kykene kosteuden kontrollointiin. Ne myöskin tuovat epäpuhtauksia rikasteeseen ja mahdollisesti vaikuttavat haitallisesti metallurgisiin ominaisuuksiin. Lisäksi niistä aiheutuu ympäristöhaittoja. /4/ Orgaanisten sideaineiden etuna on, että ne haihtuvat tai palavat sintrauksessa pois. Useimmat niistä parantavat mekaanisia ominaisuuksia, jotkut myös metallurgisia. Orgaanisista sideaineista on mm. selluloosapohjaisella Peridurilla voitu korvata onnistuneesti bentoniittia. /4/

5.3.1. Bentoniitti - yleisin lisäaine

Bentoniitti koostuu savimineraaleista (kerroksellisesta montmorilloniittista) ja se täyttää useimmat sideaineelle asetetut vaatimukset. Sillä on kolloidi luonne ja negatiivinen pintavaraus. Bentoniitilla on hyvä vedensitomiskyky ja sitä voidaan käyttää kosteuden kontrollointiin. Käytettävät määrät ovat 0,5 - 1,5 p-%. Bentoniitille on toisaalta yritetty löytää korvaajaa, koska sen piidioksidi- ja alkalipitoisuudet ovat haitallisia masuunissa. /4/

5.3.2. Peridur

Peridur on orgaaninen, selluloosapohjainen sideaine (karboksimeetyliselluloosa, CMC). Se ei sisällä ympäristöä likaavia tai metallurgisesti haitallisia aineita. Sillä saavutetaan vastaavia tuloksia kuin bentoniitilla ja tarvittavat määrät ovat vain 1/5 - 1/10 tarvittavista bentoniittimääristä. Teollisuusmittakaavassa jopa pienemmät määrät ovat riittäviä. /4/ Lisäysmäärinä käytetään 0,5 - 1,5 kg/t. Eräässä teollisuudessa suoritetussa 50.000 tonnin tuotantokokeessa käytettiin 0,05 %:n Peridur-lisäystä. /6/

Kuvissa 28, 29 ja 30 on esitetty takoniittipellettien pudotus-, märkäpuristus- ja kuivapuristuslujuustuloksia kun sideaineena on käytetty Periduria ja bentoniittia. Tulokset on summattu taulukossa 2.

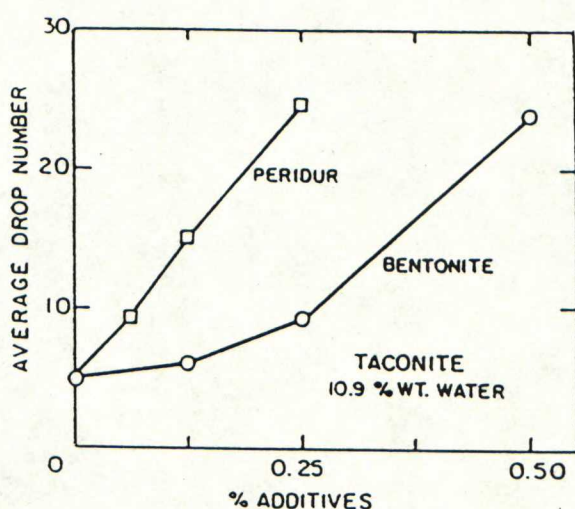


Figure 5. Variation of drop strength of Taconite pellets with the amount of bentonite or Peridur addition.

Kuva 28. Pudotuskoe bentoniitilla ja Peridurilla sidotuilla pelleteillä /4/

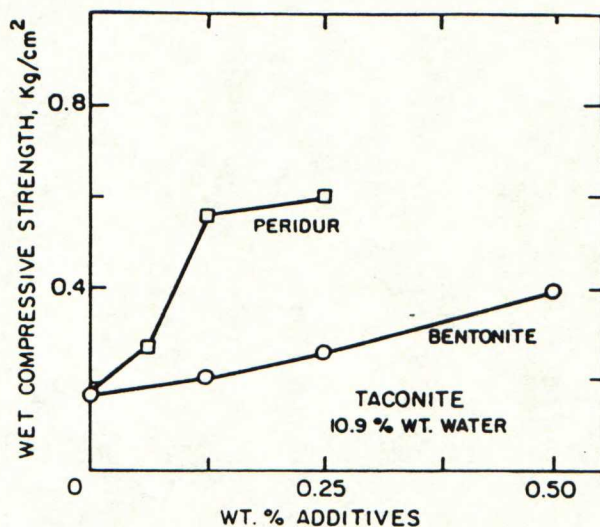


Figure 6. Variation of wet compressive strength of taconite pellets as a function of the amount of bentonite or Peridur addition.

Kuva 29. Pellettien märkäpuristuslujuus sideainelisäyksen funktiona /4/

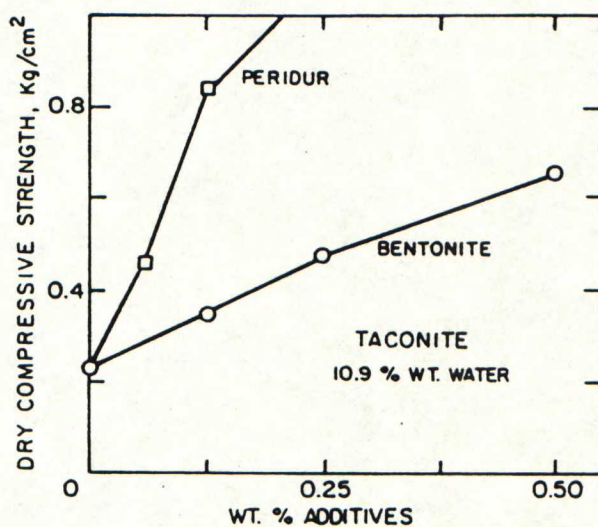


Figure 7. Variation of dry compressive strength of taconite pellets as a function of the amount of bentonite or Peridur addition.

Kuva 30. Pellettien kuivapuristuslujuus sideainelisäyksen funktiona /4/

Taulukko 2. Tulokset ja olosuhteet pelletointikokeissa /4/

Table I. Summary of Pelletization Test Conditions and Results.

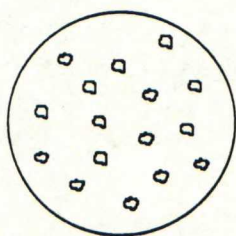
Expt. No.	Binder Wt. %	Water Wt. %	Ballability Index	Pellet Drop No.	Strength Wet Compr.	Characteristics Dry Compr.
<u>No Binder</u>						
1	---	9.9	9.6	---	---	---
2	---	10.4	10.1	4.0	---	---
3	---	10.9	10.6	5.1	0.16	0.22
<u>Bentonite Binder</u>						
4	0.125	10.4	10.0	4.7	0.26	0.36
5	0.25	10.4	9.9	7.3	0.30	0.46
6	0.125	10.9	10.5	6.1	0.20	0.36
7	0.25	10.9	10.4	9.9	0.26	0.48
8	0.50	10.9	10.2	24.2	0.40	0.64
<u>Peridur Binder</u>						
9	0.0625	10.4	9.8	7.0	0.34	0.60
10	0.125	10.4	9.5	13.0	0.50	0.64
11	0.0625	10.9	10.3	9.3	0.28	0.46
12	0.125	10.9	10.0	14.4	0.56	0.84
13	0.25	10.9	9.4	25.0	0.64	1.12
14	0.25	10.9	9.4	24.6	0.60	1.10

5.3.3. Alcotac

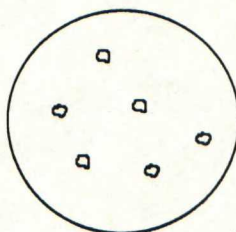
Alcotac on polymeerinen, orgaaninen lisäaine rautarikasteiden pelletointiin. Sitä on saatavana erittäin hienona jauheena, joka lisätään rikasteeseen ennen pelletointia. Saavutetut märkien pellettien ominaisuudet ovat verrattavissa bentoniitilla saavutettaviin. Orgaanisella lisäaineella saavutetaan suurempi pellettien huokoisuus, jonka ansiosta pellettien pelkistävyysominaisuudet ovat paremmat. Alcotacilla on todettu olevan paremmat juoksevuusominaisuudet kuin bentoniitilla tai selluloosa pohjaisilla lisäaineilla ja täten sen käyttö on helpompaa erilaisissa kuljettimissa. Annostusmäärä on 0,3 - 0,6 kg/tonni rikastetta. Kuvassa 31 on esitetty erityyppisten lisäaineiden toiminta pelletissä. Nähdään, että polymeerisen lisäaineen sidontakyky perustuu pitkiin ketjurakenteisiin, jotka sitovat partikkeleita toisiinsa. /7/

Distribution of Binder in Pellet

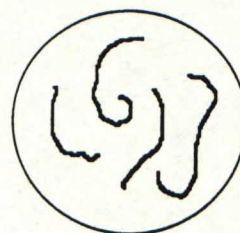
Typical Dose Levels



Bentonite
15-30 lbs/LT



CMC
1.5-2.0 lbs/LT



Polymer
0.8-1.5 lbs/LT

Kuva 31. Sideaineen jakautuminen pelletissä

5.3.4. Hiilipitoiset lisäaineet

Hiilipitoisista lisäaineista on jo käsitelty Periduria edellisessä kappaleessa. Hiilipitoiset lisäaineet rautamalmin pelletoinnissa ja sintrauksessa voivat toimia useissa tehtävissä: polttoaineena, sideaineena ja metallurgisten ominaisuuksien parantajana. Palavilla lisäaineilla pyritään lisäämään sintterin tai pellettien huo koisuutta ja pelkistyvyyttä ja samalla voidaan vähentää polttoainekuluja. /6/

Hiililisäyksellä on saavutettu ruotsalaisten toimesta hyviä tuloksia Liberiassa (LAMCO). He testasivat antrasiittia, hiilimurskaa ja petrolihiiltä laboratoriossa sekä antrasiittia ja hiilimurskaa teollisuusmittakaavassa. LAMCO-malmi oli vaikeasti pelletoitavaa. Pellettipatjan permeabiliteetti jäi heikoksi ja arinan lämpötila nousi liian suureksi. Hiilen käytöllä kyettiin pienentämään näitä ongelmia. Hiililisäyksellä saatiin lisäksi 15 %:n lisäys tuotantoon. /6/

Hoogovens (Hollanti) on saanut huomattavasti pienennettyä pellettien kylmälujuuden keskihajontaa lisäämällä hiilimurskaa. Lujuus putosi prosessia optimoitaessa, mutta jäi silti yhä riittäväksi. Hiilimurskaa lisättiin 1,0 %. /6/

5.3.5. Palavat sideaineet

Peridurin ohella lupaavin vaihtoehto bentoniitille on suoturve. Kuten Peridurkin myös suoturve omaa monia bentoniitin hyviä puolia. Lisäksi sekä Peridur että suoturve ovat palavia eivätkä ne jätä hapanta sivukiveä poltettuun sintteriin tai pellettiin. /6/

Turpeen sitomiskykyä voidaan parantaa seuraavilla tavoilla:

1. Lisäämällä turpeen konsentraatiota syötteessä
2. lisäämällä syötteen pH:ta vesiliukoisilla emäksillä
3. lisäämällä turpeen kosteuspitoisuutta
4. jauhamalla turve enintään 75 % 200 meshiin /6/

Turpeella saavutetaan parempi huokoisuus kuin bentoniitilla. Pellettien lujuus laskee turvetta käytettäessä, mutta se pysyy kuitenkin reilusti yli hyväksyttävien rajojen. Tuotteen alkalipitoisuus vähenee ja lisäksi turpeella on bentoniittia paremmat pelkistymisominaisuudet. Turpeen lämpösisältö, 25.000 kJ/kg, voidaan käyttää hyväksi sintrauksessa. /8/

L.K.A.B. on myös todennut kokeissaan turpeen tehokkuuden huokoisuuden lisääjänä. Lisäämällä 2 % 0,5 mm:n kokoon jauhettua turvetta, jonka kosteus on 50 %, saadaan huokoisuutta lisättyä 8 - 10 %. /6/

C.V.R.D. tutki vuonna 1982 puuhiilen käyttämistä huokoisuuden lisäämiseen. Lisättävät määrät olivat 0,5 - 2,0 %. 0,8 %:n lisäykseen asti ei huokoisuus juuri muuttunut, mutta tätä suuremmilla lisäyksillä se lisääntyi voimakkaasti. Kylmäpu-

ristuslujuus ja pelkistuksen jälkeinen lujuus heikkenevät, mutta 1.5 %:n lisäykseen asti tulokset olivat hyviä. /6/

Dofasco (Kanada) on tutkinut happamien pellettien pelkistävyyden parantamista palavilla lisäaineilla kuten sahajauholla, puun kaarnalla ja turpeella. He totesivat, että ei ole mahdollista kehittää hyvää huokosrakennetta, jolla olisi riittävä lujuus. Lisäaineiden käyttö todettiin Dofascolle epätaloudelliseksi. /6/

Kiinteän polttoaineen lisäyksellä hematiittiseen syötteeseen on pyritty simuloidaan magnetiitin eksotermistä reaktiota. /6/

5.3.6. Metallurgisten ominaisuuksien parantaja-lisäaineet

Kobe Steel (Japani) on käyttänyt 2.5 %:n sahajauholisäystä pellettisyötteessä. Tulokset olivat erinomaisia: raakaraudan tuotanto lisääntyi 40 % ja polttoainekulutus pieneni 13 %. /6/

Sahajauho lisää avohuokosten määrää sintterissä tai pelleiteissä ja parantaa näin permeabiliteettia masuunissa. Taulukossa 3 on annettu masuunin ajotiedot kokeilun ajalta. Kuva 32 osoittaa erilaisten pellettien ja sintterin pelkistävyyden ja kuva 33 huokoisuuden ja pelkistävyyden välisen yhteyden. Mainioista tuloksistaan huolimatta Kobe Steel ei voinut jatkaa tuotantoa, koska sahajauhon saanti vaikeutui v. 1979. /6/

Taulukko 3. Kobe Steelin masuunin ajotiedot koeajalta /6/

Table IV - Blast furnace operating data in test period

PERIODS	UNIT	1978 10/26-31	1978 11/7-12	1979 3/15-23	1978 11/14-21	1979 9/21-27	1979 4/2-9	1979 5/28-6/7	1979 8/3-15	1978 1/11-20
MIXTURE RATE OF NEW-POROUS PELLETS	%	0	24.7	30.0	34.6	50.1	60.3	76.0	100	8
PRODUCT	T/D	1107	1154	1405	1142	1488	1489	1558	1534	1593
PRODUCTIVITY	T/m ³ D	1.54	1.60	1.95	1.58	2.06	2.07	2.16	2.13	1.76
COKE RATE	kg/T	491	465	451	458	452	448	434	423	423
OIL RATE	kg/T	35	32	37	35	26	38	32	34	34
FUEL RATE	kg/T	526	497	488	493	478	486	466	457	457
BLAST VOLUME	Nm ³ /min	1002	998	1150	998	1204	1216	1204	1205	1202
BLAST PRESSURE	g/cm ²	1182	1076	1191	1062	1198	1231	1165	1154	1025
BLAST TEMPERATURE	°C	1071	1071	1097	1120	1100	1107	1056	1070	1118
P/V	—	1.18	1.08	1.04	1.06	1.00	1.01	0.97	0.96	0.86
A. D. I.	N/D	27.2	7.6	5.1	7.0	3.4	3.6	3.1	3.2	0.9
ORE/COKE RATE	—	3.04	3.24	3.39	3.31	3.31	3.42	3.53	3.58	3.54
2 CO	%	44.3	47.1	50.1	47.0	48.4	48.9	52.5	52.1	49.9
TEMP OF PIG IRON	°C	1460	1464	1433	1470	1452	1446	1464	1455	1469
Si CONTENT IN PIG IRON	%	1.13	0.95	0.65	0.88	0.64	0.53	0.64	0.56	0.75
R _{Si}	%	0.73	0.75	0.50	0.65	0.24	0.30	0.21	0.18	0.23

5.3.7. Dolomiitti-fluksatut pelletit

Hidas pelkistyminen on seurausta FeO-rikkaan kuonan kulkeutumisesta pelletin ytimestä pinnalle. Pelkistävän kaasun diffuusio pelletin sisälle estyy ja pelletin pinnalle muodostuu tiivis metallinen kuori. /9/

Tämän ongelman voittamiseksi on pyritty parantamaan pellettien ominaisuuksia vähentämällä kuonan määrää pelleteissä sekä nostamalla kuonan sulamispistettä. Kuonan määrää vähentämällä saadaan parannettua pellettien korkealämpötilaominaisuuksia. Dolomiittilisäys MgO :n lisäämiseksi on tehokas keino kuonan sulamispisteen nostamiseksi. /9/

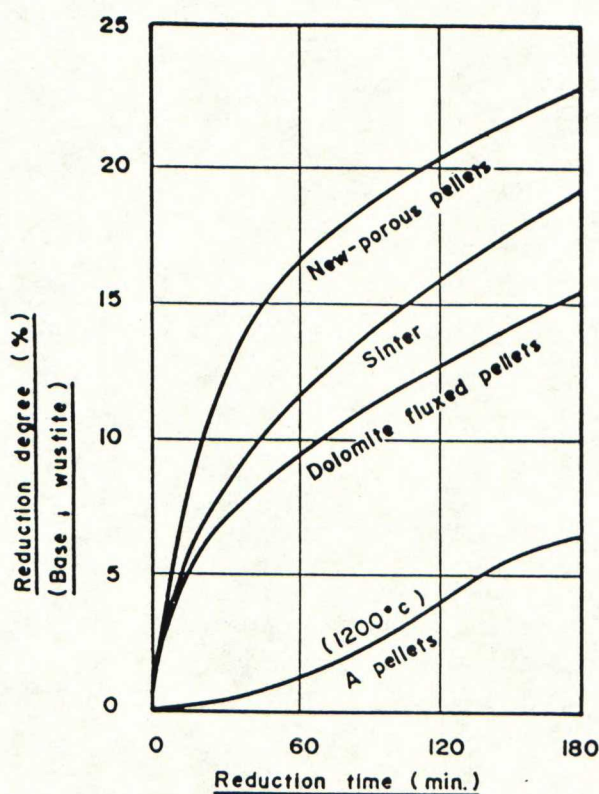


Figure 4 - Reduction curves of various pellets and sinter at 1250°C

Kuva 32. Erilaisten pellettien ja sintterin pelkistymiskäyriä, $T=1250^{\circ}\text{C}$, Kobe Steel /6/

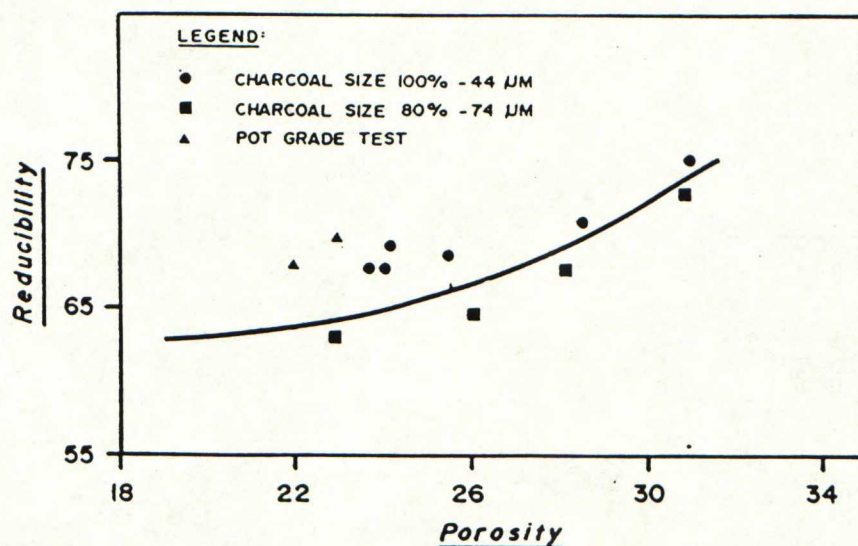


Figure 5 - Relationship between porosity and reducibility

Kuva 33. Huokoisuuden ja pelkistyvyyden välinen yhteys /6/

Dolomiittilisäyksellä saadaan pellettien kutistuminen vähenemään 30 %:sta 3 - 7 %:in. 1,8 - 2,0 %:n MgO-lisäyksellä pehmenemis- ja sulamispisteet nousivat 50°C ja 100°C vastaavasti. Kuva 34 osoittaa, että metallista kuorta tai FeO-rikasta kuonakerrosta ei synny ja että pelletti säilyttää hyvin alkuperäisen muotonsa. /9/

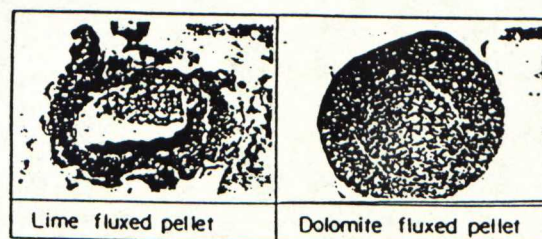


Fig.8 Cross section of pellets of after reduction from 200 to 1300°C

Kuva 34. Poikkileikkaukset kalkki- ja dolomiittifluksatuista pelleteistä pelkistyksen jälkeen /9/

Nippon Steel Corporationin suorittamassa tutkimuksessa pyrittiin kehittämään granulointia permeabiliteetin parantamiseksi ja sitä kautta patjan paksuuden lisäämiseksi.

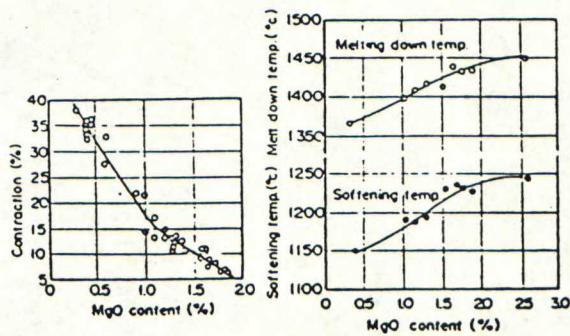


Fig.6 Effect of MgO content on the contraction (1100°C) and the softening melting down temperature of pellets

Kuva 35. MgO:n vaikutus kutistumiseen (T=1100°C) ja pehmenemis- ja sulamislämpötiloihin /9/

Kuvassa 36 on kaaviolla esitetty granuloinnin parantamiseen vaikuttavat tekijät.

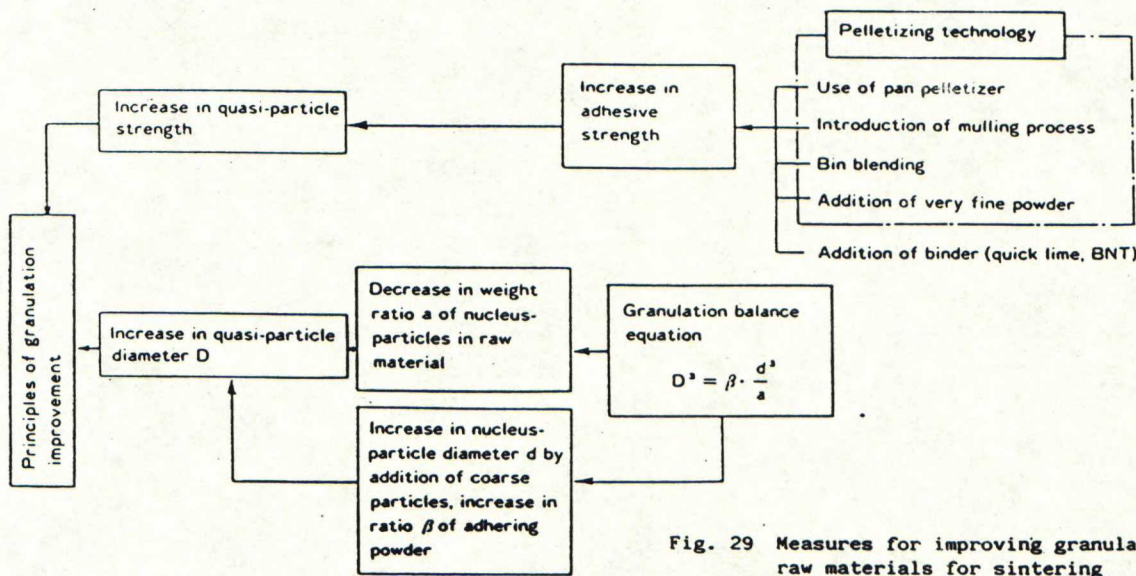


Fig. 29 Measures for improving granulation of raw materials for sintering

Kuva 36. Sintterisyötteen granuloinnin parantamiseen vaikuttavat tekijät /10/

Kuva 38 osoittaa, kunka granulointiolosuhteita muuttamalla voidaan vaikuttaa pelletointitulokseen.

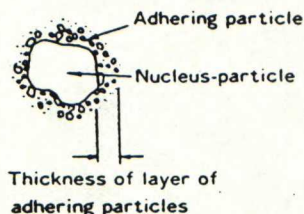


Fig. 31 Granule of sintering material

Kuva 37. Agglomeraatti /10/

Kuvasta 38 nähdään esim., että tarttuvien partikkelien kerroksen paksuus kasvaa 0,1 - 0,15 mm vaihdettaessa pelletointirummusta pelletointilautaseen ydinpartikkelin ollessa 2 - 5 mm. /10/

Kuva 39 osoittaa permeabiliteetti-indeksin riippuvuuden viipymääjasta ja kierrosnopeudesta. Havaitaan selvästi, että indeksi kasvaa pidemmällä viipymääjalla ja suurella kierrosnopeudella. /10/

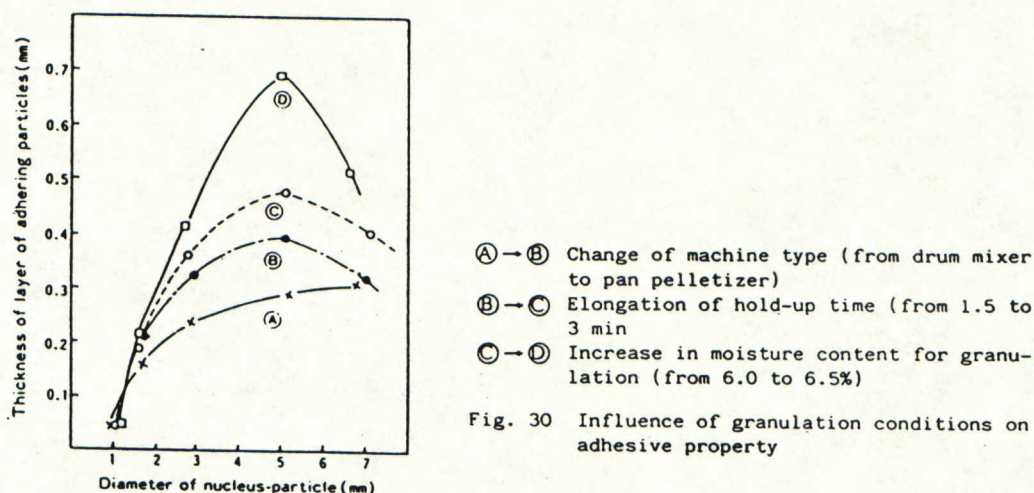


Fig. 30 Influence of granulation conditions on adhesive property

Kuva 38. Granulointiolosuhteiden vaikutus tarttumisominaisuuksiin /10/

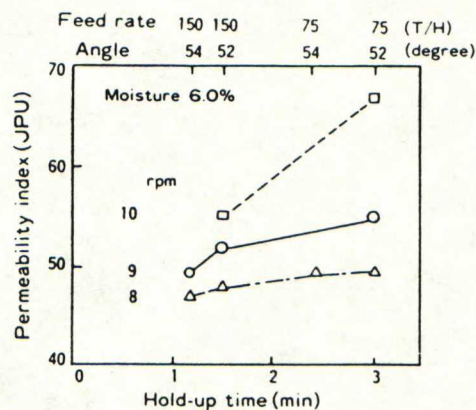


Fig. 32 Relation of permeability index to hold-up time and rotational speed

Kuva 39. Permeabiliteetti-indeksin suhde viipymä aikaan ja kierrosnopeuteen
J.P.U. = Japanese Permeability Unit /10/

$$J.P.U. = F/A(h/S)^{0.6} \quad (2)$$

missä

F= ilmamäärä, (m³/min)

A= poikkipinta-ala, (m²)

S= imupaine, (mmAq)

h= kerroksen paksuus, (mm) /5/

5.4. KYLMÄ- JA ARINAPERMEABILITEETTI

Permeabiliteetteja erotetaan kahta eri lajia:

1. kylmäpermeabiliteetti, joka tarkoittaa patjan permeabiliteettia ennen sytytystä, sekä
2. arinapermeabiliteetti, joka tarkoittaa patjan permeabiliteettia sytytyksen jälkeen. /11/

On havaittu, että hyvää arinapermeabiliteettia ei voida saavuttaa ilman hyvää kylmäpermeabiliteettia. /12/

Kylmäpermeabiliteettiin vaikuttavia tekijöitä:

- kosteus
- patjan koostumus ja partikkelien kokojakauma
- sideaineiden laatu ja määrä
- seoksen käsittely

Arinapermeabiliteetti on riippuvainen seuraavista tekijöistä:

- kondensoitumisvyöhykkeen mitat, johon vaikuttavat seoksen kosteuspi toisuus, lämpötila ja rakeiden laatu. Kondensoitumisvyöhykkeen le veyteen voidaan vaikuttaa mm. kuumentamalla seosta esim. lisäämällä kuumapalautetta.
- patjan luhistuminen, johon vaikuttavat seoksen rakenne, kosteuspi toi suus, mikropellettien määrä sekä niiden lujuudenmenetys uudelleenkos tumisessa ja käytetty imu
- lämpöaalto, jonka muotoon ja leveytaan vaikuttavat käytetyn koksen laatu ja kokojakauma, käytettyjen fluksien laatu ja määrä (esim. dolo miitti käyttäytyy täysin erilailla kuin kalkkikivi)
- jäähdytymiseen käytetyn arinan pituus /11/

6. KOSTEUS

Kosteus vaikuttaa permeabiliteettiin erilailla eri seoksilla. Kuvasta 40 nähdään, kuinka kylmäpermeabiliteetti muuttuu kosteuden funktiona kahdella eri seoksella. Kuvasta havaitaan lisäksi, että seos A on erittäin herkkä kosteuden vaihteluille ja tekee näin ollen prosessin kontrolloinnin erittäin vaikeaksi. /11/

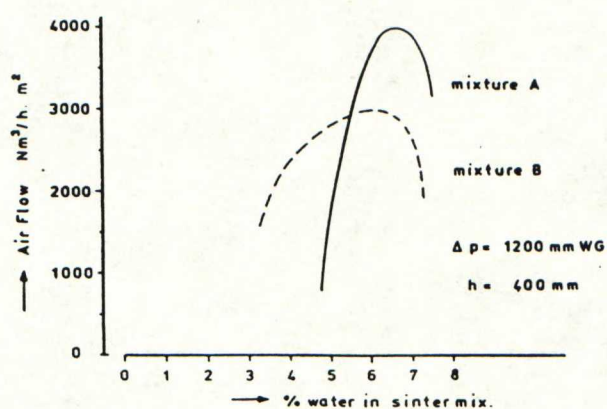


Figure 4 - Cold permeability as function of moisture content for two ore-mixtures. In mixture B the 25% concentrate of mixture A has been replaced by goethite.

Kuva 40. Kylmäpermeabiliteetin muutos kosteuden funktiona kahdella eri seoksella /11/

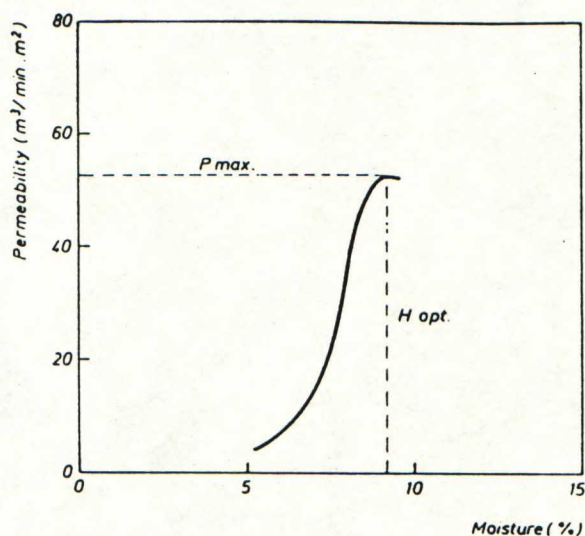
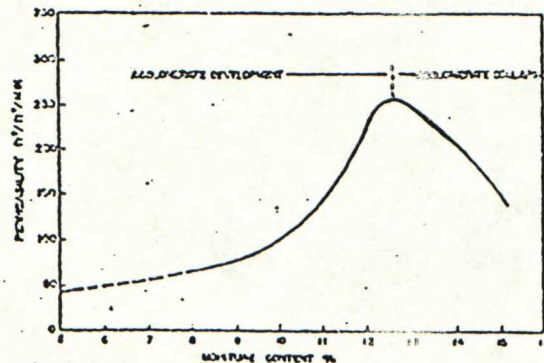


Figure 3 - Permeability of granulated ore versus moisture



Kuvat 41 ja 42. Granuloidun rikasteen permeabiliteetti kosteuden funktiona /13/ /14/

Kuvista 41 ja 42 havaitaan, että kosteudella on tietty optimiarvo, jolla saavutetaan maksimipermeabiliteetti. Liian suuri tai liian pieni kosteus aiheuttaa koksen kulutuksen kasvua. /14/ Kuva 43 esittää granuloidun rikasteen kokojakaumaa kosteuden funktiona.

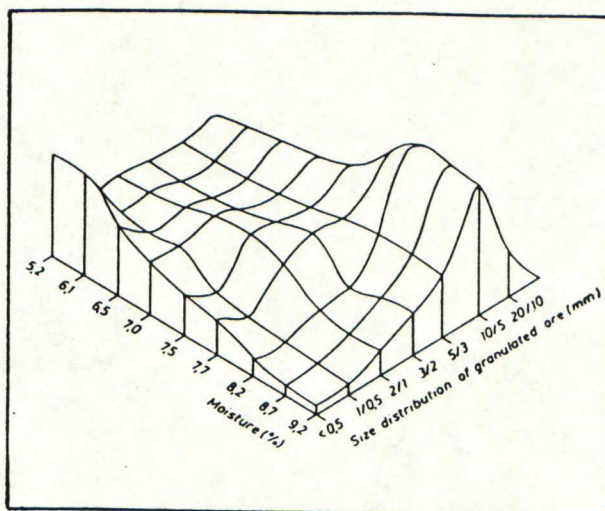
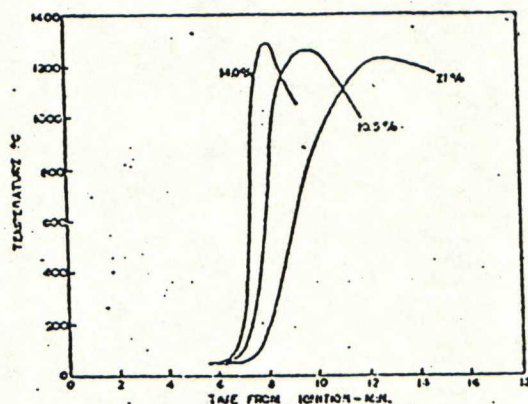


Figure 5 - Size distribution of granulated ore (relative %) versus moisture

Kuva 43. Granuloitujen partikkelien kokojakauma kosteuden funktiona /13/

Liian alhainen kosteuspitoisuus aiheuttaa lämmönsiirron hidastumisen ja huippulämpötilan alenemisen, liian suuri kosteus puolestaan saa aikaan jyrkän lämpötilan nousun, mutta sintraus keskeytyy, koska lämpö ei riitä höyrystämään kaikkea vettä palorintaman edestä. /14/

Taulukon 4 mukaisilla rikasteilla on Japanissa tutkittu rikasteen ja veden vuorovaikutuksia granulointiin ja permeabiliteettiin nähden. Rikasteen ominaisuudet ovat riippuvaisia partikkelikokojakaumasta ja pintaominaisuuksista, kuten kostuus. Kuvassa 44 on esitetty lämpötila-aikakäyriä sintrauspatjassa eri kosteuspitoisuuksilla, mutta samalla palamisnopeudella. /5/



Kuva 44. Lämpötila-aikakäyriä sintrauspatjassa eri kosteuspitoisuuksilla, mutta samalla palamisnopeudella /14/

Taulukko 4. Kokeessa käytettyjen rikasteiden kemiallinen koostumus ja kokojakauma /5/

Table 1. Chemical composition and size distribution of raw materials

Materials	Chemical composition (%)									Size distribution (%)						
	T.Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	C.W	+7 $\frac{\mu}{m}$	7-5	5-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	-0.125
Ore A	62.0	0.1	4.3	2.9	0.1	0.4	0.2	1.2	8.1	10.2	22.2	14.0	10.4	5.6	12.2	17.3
" B	61.1	0.1	6.3	2.8	0.1	0.5	0.2	1.5	8.9	9.4	25.1	17.3	12.0	8.2	9.7	9.4
" C	64.7	0.1	4.5	0.6	0.1	0.5	0.2	0.7	10.9	6.6	14.2	9.7	7.0	2.6	13.2	35.9
" D	64.9	21.9	3.6	0.4	1.0	0.5	0.1	0.4	0	0	3.4	12.2	25.8	19.9	19.5	19.3
" E	57.3	0.1	6.3	3.4	0.1	0.7	0.8	8.1	10.5	12.6	24.1	17.8	12.8	10.2	10.1	1.9
Return	53.3	8.3	7.2	2.0	11.0	2.5	0.9	0.1	0.9	10.7	51.7	17.9	9.3	4.3	3.6	1.6
Lime Stone	0.1	0.1	1.1	0.2	57.6	1.2	0	0	0	0.5	26.8	21.8	11.2	5.1	7.4	27.2
Coke	2.4	1.3	6.3	3.3	0.8	0.4	0.3	1.3	3.6	3.6	12.9	14.1	16.6	13.3	21.4	14.5

Patjan koostumus: rikastetta 66 %, palautetta 16,5 %, kalkkikiveä 13 % ja koksia 4,5 %. /5/

Kuvasta 45 nähdään veden vaikutus permeabiliteettiin, partikkelikokoon ja patjan kutistuvuuteen. Kuvasta ilmenee, että kun vesipitoisuus on alle 3 %, vesi pääasiassa absorboituu malmipartikkeleihin eikä vaikuta sitomiseen partikkelin pinnalla. Täten granulointi ei edisty ja permeabiliteetti pysyy alhaisena. /5/

Seuraavassa vaiheessa, jolloin kosteuspitoisuus on yli 3 %, partikkelit on kyllästetty vedellä ja ylimääräinen vesi kostuttaa partikkelien pinnat aiheuttaen sitovan kapillaarivoiman. Tällöin agglomeraattien koko kasvaa ja permeabiliteetti paranee. Kuitenkin kun vettä on yli 7,5 %, partikkelien koko yhä kasvaa, mutta samalla tyhjä tila partikkelien välillä pienenee. Tämän seurauksena permeabiliteetti huononee. Veden vaikutus on kullekin rikasteelle tyypillinen, joten edellä olevat prosenttiluvut ovat voimassa vain B-rikasteelle. /5/

Patjan luhistuminen on arinalle panostetun patjan korkeuksien erotus ennen ja jälkeen imun aloittamisen. /5/

Taulukossa 5 on lueteltu veden vaikutuksia granulointiin.

Taulukko 5. Veden vaikutus granulointiin /5/

Table 2. Classification of the behavior
between water and particles

Classification	Behavior between water and particles	Change of bed-permeability
1. Absorbing Region	Water is absorbed into the particles	very small
2. Granulating Region	Contribute to granulation. Granulation proceeds.	largely improve
3. Excessive Water Region	Becomes excessive and fills among particles	reversely low down

Neuvostoliitossa on myös kokeiltu veden lisäystä atomisoivalla ruiskulla. Näin saatiin tuotantoa lisättyä 2 % veden tasaisemman jakautumisen ja siitä seuraavan sintraustehon paranemisen seurauksena. /15/

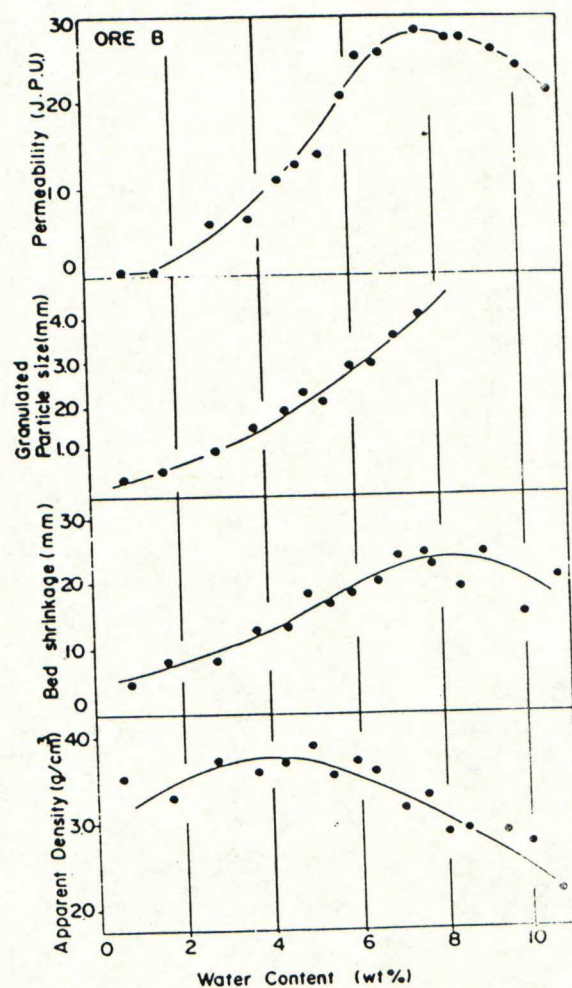


Fig.3 Influence of water content on the granulation and the bed-permeability

Kuva 45. Veden vaikutus granulointiin ja permeabiliteettiin /5/

6.1. KONDENSOITUMINEN

Sytyksen jälkeen kapea palovyöhyke etenee patjan läpi. Lämpötila kohoaa n. 1200 - 1400°C:een ja sintrautuminen tapahtuu. Ylhäältä tuleva kuuma kaasu kuivattaa ja lämmittää patjaa palorintaman edeltä. Haihtuva kosteus kulkeutuu alemmas ja kaasun jäähtyessä tiivistyy. Sintrauksen ensimmäisten minuuttien aikana voi kondensoituminen lisätä kosteutta patjan pohjalla 0,9 - 1,3 %:lla ja täten kaksinkertaistaa paineen alenemisen. 3 %:n kosteuden lisäys merkitsee 2,2 kertaista paineen laskua. /4/,/16/

Veden kondensoituminen heikentää patjan permeabiliteettia. Kosteuden lisääntyessä heikkenevät kvasipartikkeleita koossa pitävät voimat. Tällöin patjan tyhjä tila vähenee ja kaasun virtausvastus kasvaa voimakkaasti. Yleensä optimivesimäärä syötteessä on 10 - 20 % pienempi kuin vesimäärä jolla saavutetaan maksimi permeabiliteetti ennen sytytystä. /16/

Laboratoriokokeissa on todettu, että kondensoitumista esiintyy ainoastaan sintrauksen kahden ensimmäisen minuutin aikana. Tämän jälkeen raa'an seoksen vesipitoisuus säilyy vakiona. Tämä johtuu siitä, että koko seos saavuttaa tänä aikana lämpötilan 55 - 65°C, jonka yläpuolella tiivistymistä ei tapahdu. /16/

7. PATJAN KORKEUS

Kuvasta 46 havaitaan patjan korkeuden ja imun vaikutus tuottavuuteen. /17/

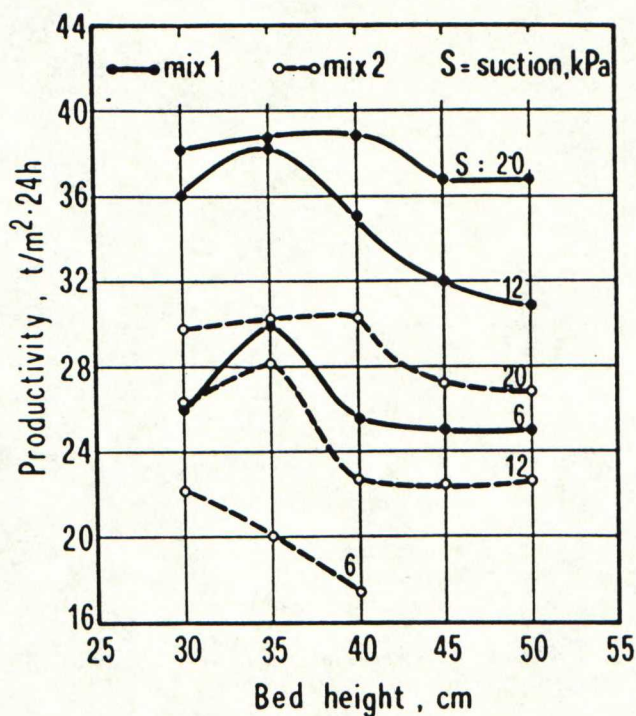


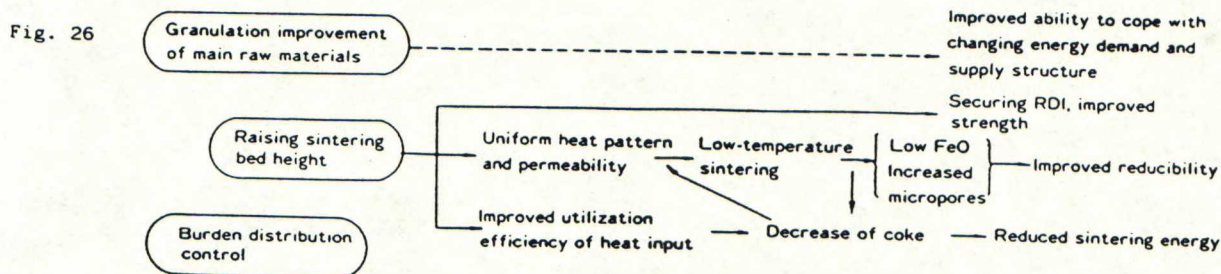
Fig. 3—Influence of bed height and suction on sinter productivity

Kuva 46. Patjan korkeuden vaikutus tuotantoon. mix1 = karkea, mix2 = hieno
/18/

Sintrauspatjan korkeus on luonnollisesti erittäin tärkeä tekijä permeabiliteettia ajatellen. Mitä paksumpi patja, sitä vaikeampaa on ilman kulku sen läpi ja sitä suuremmat vaatimukset kohdistuvat mikropelletointiin. Mikäli mikropelletointi epäonnistuu, on patjan paksuuden kohottamisesta normaalisti seurauksena tuotannon lasku.

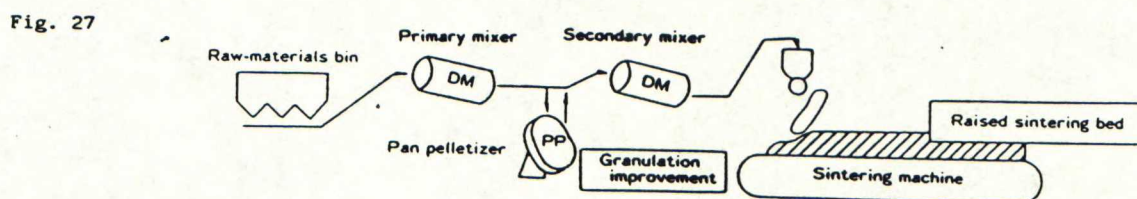
Nippon Steel Corporation on patjan korkeuden nostamiseksi kehittänyt granulointimenetelmiä sekä materiaalin jakautumista kontrolloivaa teknologiaa, jonka avulla saadaan koko patjalle tasainen terminen historia pystysuunnassa. /6/

Kuvassa 47 on esitetty kaaviokuvana menetelmä, jolla patjan korkeutta on nostettu.



Kuva 47. Menetelmä patjan kohottamiseksi /10/

Kuvassa 48 on esitetty tehtaan sintraamon prosessikaavio.



Kuva 48. Prosessikaavio /10/

Granulointimenetelmää on tarkemmin esitelty mikropelletoinnin yhteydessä. Patjan korkeutta on myös voitu lisätä ottamalla käyttöön imurien ylijäämätehoa, kuten Japanissa on tehty, sekä ottamalla käyttöön laitteisto, jolla voidaan suorittaa eroteltu panostus. Lopputuloksena on patjan korkeutta nostettu 400 mm:stä (1973) 580 mm:in (1982). Joillakin sintrauskoneilla on käytetty jopa 700 mm:n patjaa. Tämä oli pääsyyinä siihen, että koksen kulutus putosi 55 kg/t:sta 46 kg/t:en. Samalla myös sintterin lujuus parani. /18/

Palautemäärän vähentämisellä on saavutettavissa varsin huomattavia lisäyksiä tuotannossa. Esim. käyttämällä palamalmia arinasuojakerroksena palautteen sijasta, on tuotantoa voitu nostaa jopa 10 %. /19/

8. PELLETTISINTRAUS

Varsinaisen sintrauksen ja pelletoinnin välimuotona voidaan pitää menetelmää, jossa valmistetaan pieniä, halkaisijaltaan 5 - 10 mm, pellettejä, joita sitten käytetään normaalina sintterisyötteenä ja sintrataan. Menetelmää kutsutaan pellettisintraukseksi.

Menetelmä parantaa sintteripatjan permeabiliteettia varsin huomattavasti, koska kaikki materiaali saadaan granuloitua. Sintrauksessa käytettävä imu on keskimäärin luokkaa 1400 - 2000 mmAq ja imurien sähkönkulutus 50 % koko prosessin kulutuksesta. Uudella agglomeroointiprosessilla on imupaine luokkaa 400 - 500 mmAq. /20/

Normaalista sintrausprosessista poiketen pellettisintraus mahdollistaa myös hienojen malmien, kuten pellettisyötteen, käytön prosessin raaka-aineena. Tämä etu on seurausta siitä, että kaikki materiaali saadaan granuloitua ennen sintrausta. Kuvassa 49 on esitetty pellettisintrauksella tuotettua sintteriä. /20/

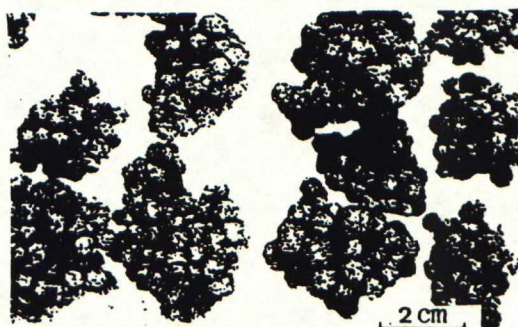


Fig. 1. Appearance of new agglomerate.

Kuva 49. Pellettisintrauksella tuotettua sintteriä /20/

Japanissa suoritetussa kokeessa käytettiin australialaista malmia, joka oli seulottu 5 mm:n raekokoon, sekä etelä-amerikkalaista pellettisyötettä. Sekoitussuhde oli 60 %/40 %. Polttoaineena käytettiin koksipölyä, sideaineena ja emäksisyyden säätäjänä poltettua kalkkia (6 - 7 %). Kosteutta lisättiin 8 - 10 %. /20/

Matemaattiset arviointimenetelmät osoittivat, että tehokkaan koksen palamisen aikaansaamiseksi koksi on paras lisätä pellettien pinnalle. Tämä vahvistettiin käytännön kokeilla. Kokeessa, jossa koksi sekoitettiin materiaaliin, lisättiin 3 % koksia sekoittimeen. Toisessa kokeessa koksi lisättiin pellettien pinnalle pelletointilautasella. Kuvassa 50 nähdään lämpötilakäyrät kun koksi on sekoitettu vaihtoehtoisesti pelletin sisään tai lisätty pelletin pinnalle. /20/

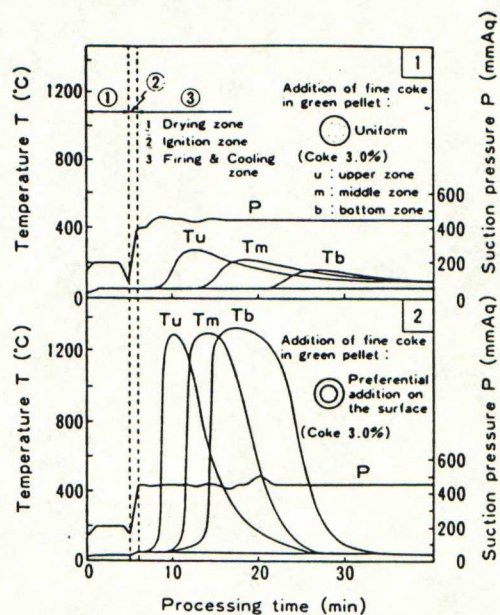


Fig. 3. Influence of method for coke addition to green ball on heating pattern of the new agglomeration process.

Kuva 50. Koksen lisäystavan vaikutus lämpötiloihin /20/

Koksen ollessa pelletin sisällä jää osa koksista palamatta pinnalla olevan koksen palaessa täysin ja täten muodostaessa mikropellettien välille paremman sidoksen. /20/

Korkealämpötilaominaisuuksien parantamiseksi sekoitettiin sekä hienoa että karkeaa materiaalia sopivissa suhteissa. Pelkistyvyyden parantamiseksi ja reagoimattoman materiaalin vähentämiseksi + 5 mm:n partikkelit seulottiin pois

tässä kokeessa. SiO_2 pitoisuusraja asetettiin alle 5 %:n pelkistävyyden parantamiseksi. Pelkistävyyden näkökulmasta katsoen myös diffuusiosidos ja matala kuonapitoisuus ovat toivottavia kaasun läpäisevyyden parantamiseksi masuunissa. /20/

Sintraukseen käytettiin perinteistä sintrauskonetta, mutta koska se ilman muutoksia todennäköisesti rikkoisi pelletit nopean höyrystymisen seurauksena, käytettiin kuivausvyöhykettä ennen sytytystä. Pellettikerrosta kuivattiin ainoastaan 3 cm:n syvyydeltä pinnasta 3 minuutin ajan, mikä oli riittävä aika vähentämään kondensoitumisesta sekä lämpöshokista johtuvaa hajoamista patjan kulkiessa sytytysvyöhykkeen läpi. /20/

Kuvassa 51 on verrattu pellettisinterin ja sintterin ominaisuuksia.

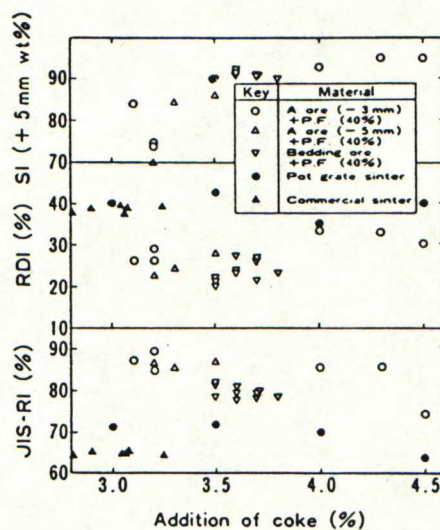


Fig. 4. Comparison of qualities between new agglomerate and sinter.

Kuva 51. Uuden agglomeraatin ja sintterin ominaisuuksien vertailua /20/

Kuvassa 52 on vertailtu pellettisinterin, sintterin ja happamien pellettien pehmenemis- ja sulamisominaisuuksia. Nähdään, että uuden agglomeraatin kor-

kealämpötilaominaisuudet ovat ylivoimaiset pelletteihin verrattuna. Sulamis-
lämpötila ja paineenlasku ovat kutakuinkin samat kuin sintterillä. Pellettisintterille
on luonteenomista pienempi paineen putoaminen sulamisen aikana kuin sintteril-
lä. /20/

Kuvasta 53 havaitaan, että uudessa agglomeraatissa on paljon enemmän
makrohuokosia kuin sintterissä tai pelleteissä. Yli 10 mikrometrin huokosten
määrä oli sintterissä alle puolet siitä mitä pellettisintterissä. On oletettavaa, että
makrohuokosten suurella määrällä on merkistystä korkean pelkistyvyyden
saavuttamiselle. /20/

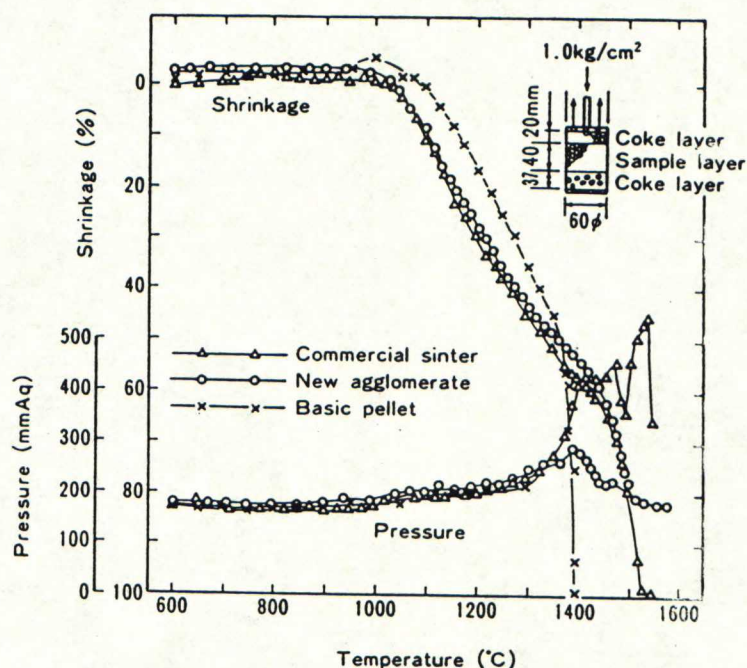


Fig. 5.
Comparison of softening and melting properties of
various agglomerates.

Kuva 52. Erilaisten agglomeraattien sulamis- ja pehmenemisominaisuuksien
vertailua /20/

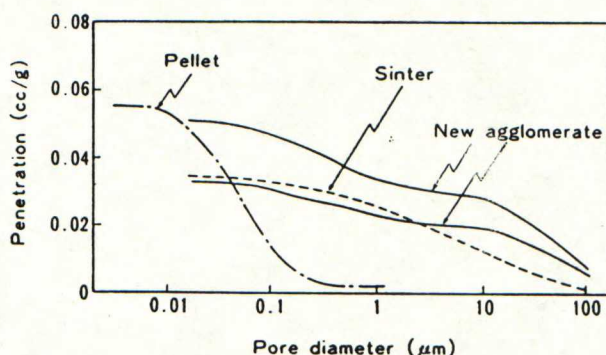


Fig. 9. Pore diameter distribution of typical agglomerates measured by mercury intrusion method.

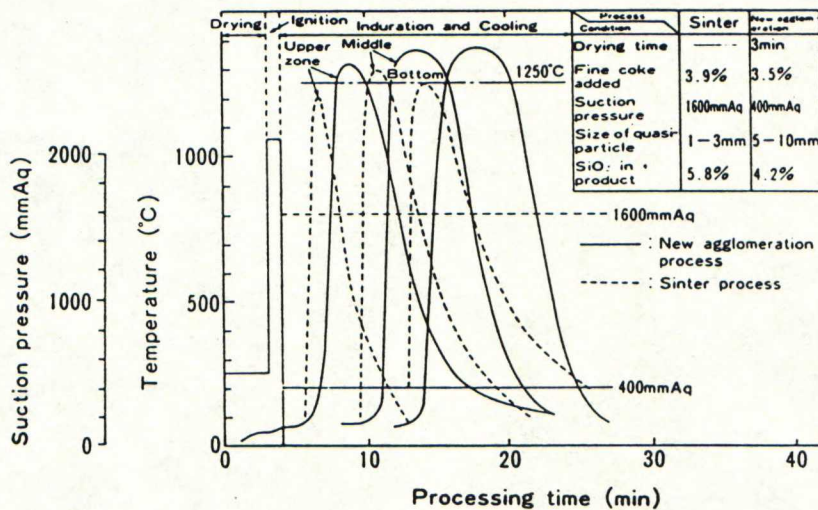
Kuva 53. Sintterin, pellettien ja pellettisintterin huokoskokojakauma /20/

Huolimatta siitä, että yksittäiset partikkelit uudessa agglomeraatissa ovat pellettejä, kuva 52 osoittaa, että sen korkealämpötilaominaisuudet ovat ylivoimaiset pelletteihin verrattuna. /20/

Kuvassa 54 on vertailtu uuden agglomeraatin ja sintterin lämpötilarintamaa koepannussa. Huolimatta suhteellisen pienestä koksijauheen lisäyksestä tulokset osoittavat, että uudella agglomeraatilla maksimilämpötila on korkeampi kuin sintterillä. Tämä johtuu osaksi raa'an sintteriseoksen sisältämästä suuresta määrästä sivukivimineraaleja verrattuna uuteen agglomeraattiin. Nämä sivukivimineraalit aiheuttavat endotermisen reaktion sulamisen aikana. Kalkkikiven käyttö fluksina puolestaan aiheuttaa endotermisen reaktion termisen hajoamisen aikana. /20/

Uuden agglomeraatin RDI-arvo on ylivoimainen sintteriin verrattuna. Alhaisen RDI-arvon arvellaan johtuvan pienestä lasimaisen kuonan määrästä ja suhteellisen suuresta jäähtymisnopeudesta verrattuna sintrausprosessiin. Tämä on

saatu aikaan kehittyneemmällä koksen lisäysmenetelmällä ja paremmalla permeabiliteetilla. /20/



Kuva 54. Sintterin ja uuden agglomeraatin lämpökäyrät /20/

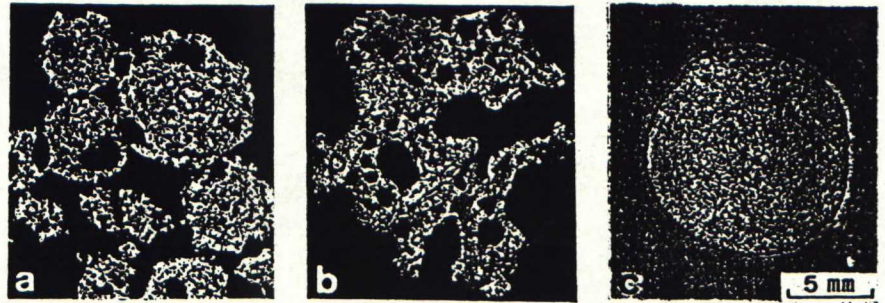
Kuten jo aiemmin on mainittu, lisätään koksijauhe pellettien pinnalle sekundääri-granuloinnissa. Tämä koksen lisäystapa mahdollistaa tehokkaan palamisen, koska koksi saa riittävästi happea ollessaan pelletin pinnalla. Koska pellettisitrauksessa käytetään suhteellisen suuria pellettejä verrattuna perinteisen sintrauksen kvasipartikkeleihin, jää koksen palaminen vajaaksi, jos se on pelletin sisällä. Tämä johtuu siitä, että happi ei kykene tunkeutumaan syvälle pelletin sisään. Uuden agglomeraatin suurempi jäähtymisnopeus (1000-300°C, 240 - 290°C/min., sintterillä 165 - 280°C/min.) johtuu koksen nopeammasta palamisesta ja paremmasta permeabiliteetista. Jäähtymistä voidaan kiihdyttää lisäämällä imettävän kaasun määrää arinan jälkipuoliskolla. /20/

Kuvasta 55 havaitaan, että reagoimattoman malmin määrä uudessa agglomeraatissa on pienempi kuin sintterissä. Kuvassa 56 on esitetty sintterin ja pellettisintterin pudotuskoetuloksia.

- : Unfused ore
 (a) New agglomerate
 (b) Sinter
 (c) Basic pellet

Fig. 10.

Comparison of macro-structures of agglomerates.



Kuva 55. Uuden agglomeraatin (a), sintterin (b) ja emäksisen pelletin (c) makrorakenteen vertailua /20/

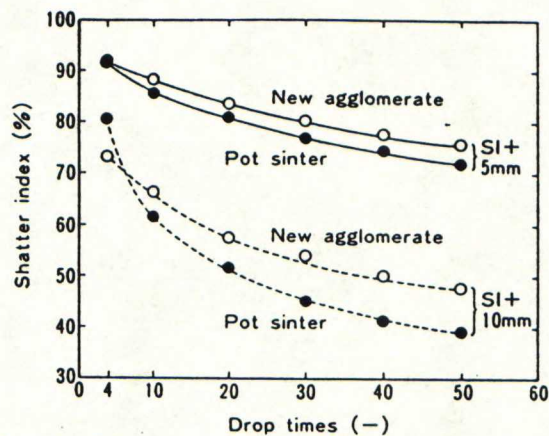


Fig. 11. Comparison of shatter index between new agglomerate and sinter.

Kuva 56. Sintterin ja pellettisintterin pudotuskoetuloksia /20/

Taulukko 5. Pellettisintteriseoksen raekokojakauma /20/

Taulukko 6. Pellettisintterin kemiallinen koostumus /20/

Table 1. Size distribution of raw mixtures used for the new agglomeration process. (%)

Blended material	+4.76 mm	~2.83	~2.00	~1.00	~0.50	~0.125	~0.044	~ -0.044
A ore (-3 mm)+P. F (40 %)	—	0.44	4.11	19.06	12.86	17.07	17.07	29.44
A ore (-5 mm)+P. F (40 %)	0.10	4.89	7.44	15.16	11.86	15.39	20.16	25.00
Bedding ore (-5 mm)+P. F (50 %)	0.02	5.98	6.47	13.01	8.83	17.37	19.30	29.02

P. F: Pellet feed

Table 2. Chemical composition (%) of new agglomerate.

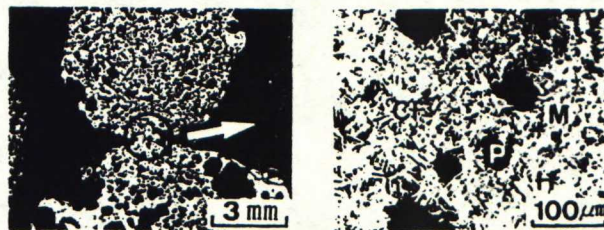
Material	T. Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	CaO/SiO ₂
A ore (-3 mm)+P. F (40 %)	60.23	0.43	4.10	6.86	1.99	1.67
A ore (-5 mm)+P. F (40 %)	60.32	1.29	3.87	6.63	1.94	1.71
Bedding ore (-5 mm)+P. F (50 %)	60.37	4.31	3.29	6.79	1.65	2.06

P. F: Pellet feed

Kuvan 56 pudotuskoetulokset osoittavat, että uusi agglomeraatti on kestävyysdeltään jonkin verran sintteriä parempi.

Taulukoissa 5 ja 6 on annettu pellettisintteriseoksen raekokojakauma ja kemiallinen koostumus. Pelkistyvyyden parantamiseksi agglomeraatin sitominen suunniteltiin tapahtuvaksi kalsiumferriitin avulla, jolla on suhteellisen korkea pelkistvyys, kuva 57. Jäykän kalsiumferriittisidoksen saamiseksi lisättiin koksijauhe pelletin pinnalle siten, että sen palaminen muodostaa osittain sulaa kalsiumferriittiä. /20/

Sidoksen mikrorakenneanalyysissä on havaittu hematiitti ja kalsiumsilikaattikuona mineraalifaaseina. Koska tuotteen SiO₂-pitoisuus on alhainen (3,3 - 4,1 %), toivottuja neulamaisia kalsiumferriittipartikkeleita muodostui ja ne esiintyivät sekundäärihematiitin ja magnetiitin seassa kuvan 57 mukaisesti. /20/



CF: Calciumferrite H: Hematite
M: Magnetite P: Pore

Fig. 7. Macro and micro bonding structure of new agglomerate.

Kuva 57. Pellettisintterin makro- ja mikrosidosrakenne /20/

8.1. MINERALOGINEN RAKENNE JA OMINAISUUDET

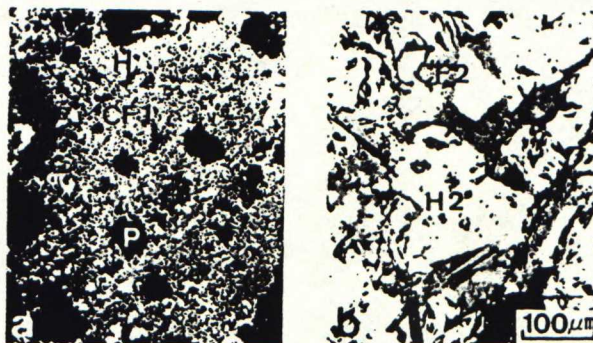
Kuva 58(a) osoittaa tapauksen, jossa koksia on lisätty suhteellisen pieni määrä. Nähdään, että agglomeraatti on muodostunut tavoitteen mukaisilla diffuusiosidoksilla. Tuloksena saatiin korkean pelkistävyyden ($RI=87\%$) omaava pellettisintteri. Toisaalta, kun koksen määrää on lisätty niin, että on saatu aikaan vahvempi sidos, jotta pellettiagglomeraateille saataisiin mahdollisimman paljon sintteriä muistuttava ulkomuoto, on syntynyt kalsiumferriitistä, magnetiitista, ja sekundäärihematiitista muodostuva sulasidos, kuva 58(b). Sularakenteesta huolimatta saavutetaan RI :lle arvo 76 %. Tämä johtuu pienestä kuonanmuodostuksesta ja huokosjakaumasta mineraalirakenteesta. Sintterin tapauksessa makrohuokokset mahdollistavat pelkistävien kaasujen läpivirtauksen ja edistävät näin pelkistymistä. /20/

Pellettisintterin korkealämpötilaominaisuudet ovat ylivoimaiset pelletteihin ja sintterin verrattuna seuraavista tekijöistä johtuen:

1. yksittäisen pelletin koko (5 - 10 mm) on pienempi kuin perinteisen pelletin -> täydellinen pelkistyminen ennen metallisen kuoren syntyä

2. johtuen raaka-aineen karkeista partikkeleista agglomeraatin tilavuuden kutistuminen estyy - suuret huokoset säilyvät.

Lisäksi pehmenemis- ja kutistumiskäyttäytyminen vastaa sintterillä tapahtuvaa. Matalan SiO_2 -pitoisuuden ansiosta kuonamäärä on alhainen. Tämä puolestaan aiheuttaa pienen painehäviön. /20/



CF1: Fine calciumferrite
 CF2: Columnar calciumferrite
 H: Fine hematite H2: Secondary hematite
 M: Magnetite P: Pore
 (a) New agglomerate (Diffusion bond, RI: 87 %)
 (b) New agglomerate (Melting bond, RI: 76 %)

Fig. 8. Micro-structures of new agglomerate.

Kuva 58. Uuden agglomeraatin mikrorakenteet /20/

Todettiin, että agglomeraateilla on taipumusta hajota yksittäisiksi pelleteiksi kuljetuksen aikana. Tämä herätti epäilyksen, että panos käyttäytyisi masuunin panostuksessa kuten pelletit ja täten heikentäisi masuunin toimintaa. Panoksen jakautumista tutkittiin vertailemalla eri panosten lepokulmia. Tulokset olivat seuraavanlaisia, taulukko 7:

Taulukko 7. Eri agglomeraattien lepokulmat /20/

pellettisintteri	35,8 (5 - 10 mm)
	37,2
sintteri	35,8
pelletti	32,7

Tulokset osoittivat, että masuunin toiminta ei heikkene, koska pellettisintteripanoksen jakautuminen on miltei samanlainen kuin sintterin, vaikka agglomeraatti hajoaisikin yksittäisiksi pelleteiksi käsittelyssä. Kulman erilaisuus pelletteihin nähden johtuu partikkelien muodosta. /20/

Perinteisessä sintrauksessa tuottava saanti on n. 70 - 80 %. Pellettisintrauksella saannin odotetaan olevan yli 90 %. Myös energiansäästö on huomattava perinteiseen sintraukseen verrattuna. /20/

8.2. HYBRIDI PELLETTISINTTERIN (HPS) KAUPALLINEN TUOTANTO FUKUYAMAN TEHTAILLA

Pellettisintterille tyypillisiä piirteitä ovat:

1. Prosessissa voidaan käsitellä sekä sintteri- että pellettisyötettä, mikä normaalisti tapahtuu eri prosesseissa, sintrauksessa ja pelletoinnissa.
2. Prosessi käyttää runsaasti hienorakeista rautarikastetta ja tuottaa koksilla päällystettyjä märkiä pellettejä, joilla on kolmikerroksinen rakenne.
3. Hybridi pellettisintterillä on paremmat pelkistys- (RI) ja pelkistyslujuusmisominaisuudet (RDI) kuin sintterillä ja pelleteillä. /21/

Taulukossa 8 on vertailtu pellettisitrauksen ja perinteisten agglomeroitiprosessien ominaisuuksia.

Taulukko 8. Pellettisitrauksen ja perinteisten agglomeroitiprosessien vertailua
/21/

TABLE I COMPARISON OF PROCESS CHARACTERISTICS BETWEEN THE HPS AND THE CONVENTIONAL AGGLOMERATION PROCESS.

Items	Sintering Process	Pelletizing Process	H. P. S. Process
Raw material size distribution	Sinter feed (- 125µm <20%)	Pellet feed (- 44µm >70%)	Sinter feed + Pellet feed
Process			
Ore processing	Granulation to quasi-particle (3~5mm) (Drum mixer)	Granulation to pellet (8~15mm) (Disc, Drum pelletizer)	1. Granulation to micro-pellet (5~8mm) (Disc pelletizer) 2. Coke-coating (Drum mixer)
Induration	Traveling grate	Traveling grate Grate kiln Shaft furnace	Traveling grate
Fuel	Coke oven gas + fine coke (- 3mm)	Coke oven gas Pulverized coke	Coke oven gas + fine coke (- 1mm)
Capacity of blower	1500~2000mmH ₂ O	400~500mmH ₂ O	400~500mmH ₂ O
Products			
Productive yield	< = 80%	> = 90%	> = 90%
Shape	Irregular (5~50mm)	Spherical (8~15mm)	Micro-pellet (5~8mm) and micro-pellet block
Structure	Slag bond + Unfused ore	Diffusion bond	Diffusion bond
T. Fe	55~58%	60~63%	58~61%
Slag volume	15~20%	5~10%	7~12%
JIS-Reducibility	60~65%	60~75%	70~80%
Degradation (RD)	35~45%	-	30~40%
Softening properties	Superior	Inferior to sinter	Equivalent to sinter

8.2.1. HPS-laitoksen prosessi ja laitteet

HPS-laitoksen prosessikaavio on esitetty kuvassa 59.

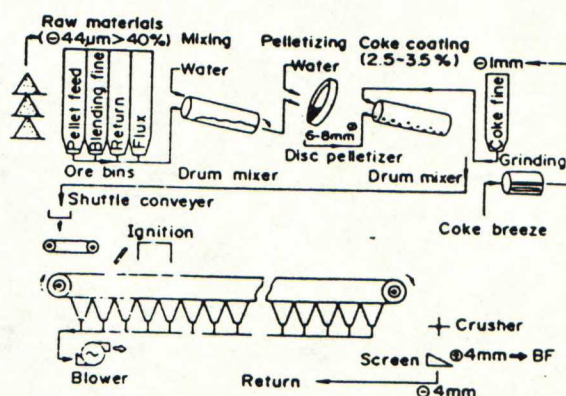


Fig. 11 Conceptual process flow of the HPS plant at Fukuyama Works.

Kuva 59. HPS-laitoksen prosessikaavio /22/

Fukuyaman sintraamo No. 5 muutettiin pellettisinfrauslaitokseksi. Se poikkeaa aikaisemmasta sintraamosta siten, että siinä on tehostettu pelletointilaitteisto, pellettien koksauslaitteisto ja uusi panostuslaitteisto sintrausarinalle. Taulukossa 9 on esitetty HPS-laitteisto ja sen ominaisuudet. /22/

Tehostettua pelletointia varten on laitokselle asennettu kymmenen pelletointilautasta. Lautaset tuottavat 5 - 10 mm halkaisijaltaan olevia pellettejä ja jokaisen lautasen halkaisija on 7,5 m ja tuotanto kapasiteetti 110 t/h. Pellettien pinnoitus koksilla tapahtuu rumpusekoittimessa. Rummun halkaisija on 4,4 m ja pituus 17,5 m. Pinnoitukseen käytettävä koksi on raekooltaan -1 mm. Uusi hellävarainen pehmeäpanostusmenetelmä on esitetty kuvassa 60. Tämä laitteisto koostuu kahdesta leveästä kuljettimesta sekä sukkulakuljettimesta, joka jakaa pelletit tasaisesti ylemmälle leveälle kuljettimelle. Tämän menetelmän käytön otolla on mahdollistettu märkien pellettien siirto ehjinä pelletointilautaselta sintrausarinalle. /22/

Taulukko 9. HPS-laitteiston esittely /22/

TABLE IV SPECIFICATION OF MAIN EQUIPMENT
AT HPS COMMERCIAL PLANT.

Items	Specification
1. Granulating Equipment	1) Granulating Hopper 80m ³ × 10 units 2) Disc Pelletizer Size 7500mm ϕ × 750mm ^H × 10 units Revolution 5 ~ 9 r.p.m. Inclination 45 ~ 60°
2. Coke Breeze Coating	1) Coke Hopper 400m ³ × 2 units 2) Coating Mixer (Drum Type) Size 4400mm ϕ × 17500mm ^L × 1 unit Inclination 4/100
3. Charging System	1) Shuttle Conveyer 1600mm ^W , 65m/min 2) Wide Conveyer 5200mm ^W , 5 ~ 20m/min
4. Sintering Machine	Effective Grate Area 530m ² , (5m ^W × 106m ^L) Bed Height 620mm Grate Speed 1.0 ~ 5.0m/min

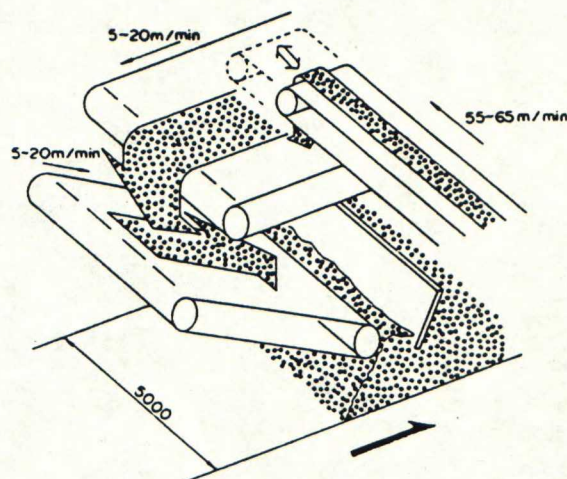


Fig.10 Schematic flow of charging system.

Kuva 60. Kaavakuva pehmeäpanostuslaitteistosta /22/

Pelletointilautaset, koksi-pinnoituslaitteisto ja uusi panostuslaitteisto ovat välttämättömiä HPS-prosessissa. Pelletointilautanen mahdollistaa monenlaisen raaka-aineen käytön prosessissa, erityisesti hienolla pellettirikasteella saadaan aikaan onnistunut pelletointitulos. Koksin lisäys pellettien pinnalle saa aikaan tehok-

kaamman koksen palamisen ja täten vähentää koksen kulutusta. Leveillä kuljettimilla varustettu panostuslaitteisto vähentää märkien pellettien hajoamista ja täten parantaa sintrauspatjan permeabiliteettia. Taulukossa 10 on esitetty HPS-laitoksen tuotanto kapasiteetti. /22/

Taulukko 10. HPS-laitoksen tuotantokapasiteetti /22/

TABLE III PRODUCTION CAPACITY OF HPS PLANT.

Product	600 × 10 ⁴	(t/y)
Productivity	1.38	(t/m ² ·h)
Suction Area	5 (W) × 106 (L) = 530	(m ²)
Bed Height (Max.)	620	(mm)

8.2.2. HPS-laitoksen teollinen toiminta

HPS-laitos aloitti toimintansa marraskuussa 1988. Kuvasta 61 näkyy toimintatulokset ensimmäiseltä vuodelta. Taulukossa 11 on esitetty toimintatuloksia ennen ja jälkeen pellettisintrauksen käyttöönoton. /22/

Vastoin yleistä tietoa, jonka mukaan hienoaineuksen lisäyksellä on tuottavuutta heikentävä vaikutus, HPS-prosessin tuottavuus parani kun hienoaines pitoisuus kaksinkertaistui. Koksen kulutus väheni n. 5 kg/t johtuen koksen tehokkaammasta palamisesta pellettien pinnalla. /22/

Taulukko 11. Toimintatuloksia ennen ja jälkeen pellettisitrauksen käyttöönoton

/22/

TABLE V OPERATIONAL RESULTS AT FUKUYAMA
No.5 SINTERING MACHINE.

		Sinter (Aug. '88)	H.P.S. (Aug. '89)
Raw materials	Fine ore (%)	15.6	40.0
	- 125µm (%)	20.5	37.0
	Mean size (mm)	2.15	1.59
Operation	Productivity (t/m ² -h)	1.43	1.48
	Coke breeze (kg/t)	42.0	37.3
	Coke oven gas (Nm ³ /t)	0.9	1.3
	Electricity (kwh/t)	25.2	27.7
	Return fine (kg/t)	228	219
Products	SiO ₂ (%)	5.15	4.61
	T.I. (+10) (%)	67.4	68.0
	R.I. (%)	65.2	71.6
	R.D.I. (-3) (%)	44.5	43.5

Teollisessa tuotannossa pyritään yleensä vakioimaan kylmälujuus. HPS-proses-
sille ominainen piirre on, että siinä saadaan vakio rumpulujuus TI(+10) alemmalla
kuonapitoisuudella (CaO+SiO₂) kuten kuvasta 62 nähdään ja pienemmällä koksi
määrällä kuten kuva 63 osoittaa. Nämä tulokset johtuvat hyvästä fluxin ja
rikasteen välisestä kosketuksesta. Tämä tarkoittaa sitä, että märän pelletin hienot
rikastepartikkelit ja fluxikomponentit (yleensä CaO) joutuvat tehokkaaseen
kosketukseen paremman koksen palamisen vuoksi. Täten HPS säilyttää hyvän
kylmälujuuden. Alhainen koksimäärä johtaa myös hyvään pelkistyyvyysindeksiin,
kuten kuvasta 64 nähdään. /22/

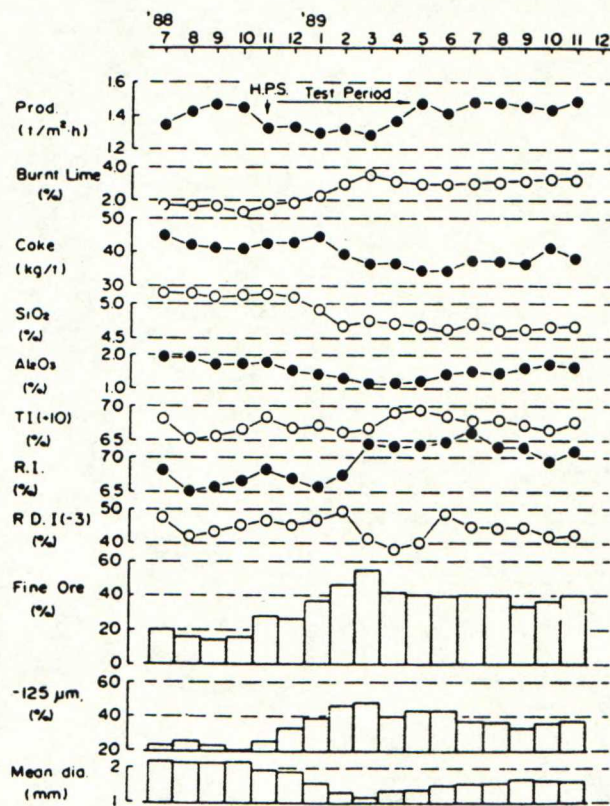


Fig.12 Trend of HPS operation results.

Kuva 61. Tuloksia HPS-laitoksen ensimmäiseltä toimintavuodelta /22/

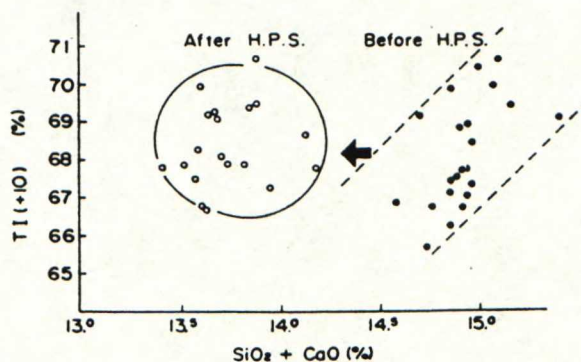


Fig.5 Relation between cold strength TI(+10) and slag content.

Kuva 62. Kylmälujuuden TI(+10) ja kuonapitoisuuden välinen suhde /22/

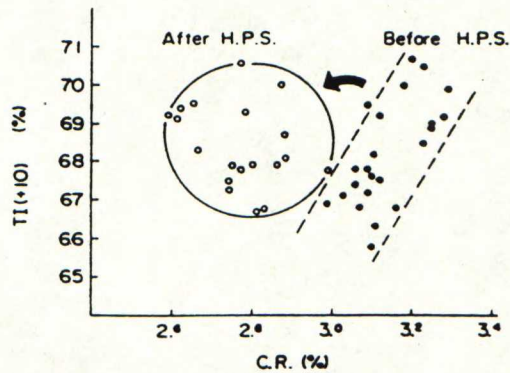


Fig.6 Relation between cold strength TI(+10) and coke mixing ratio.

Kuva 63. Kylmälujuuden TI(+10) ja koksimäärän välinen suhde /22/

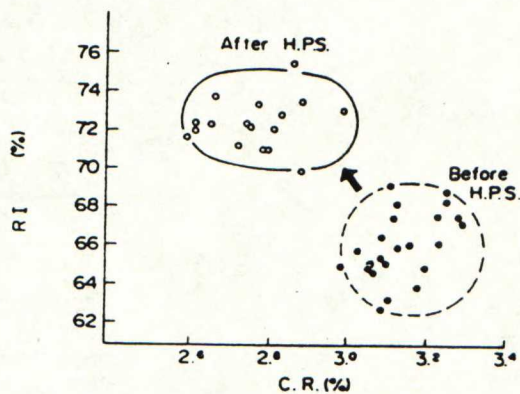


Fig.7 Relation between RI and coke mixing ratio.

Kuva 64. Pelkistyyvyysindeksin RI ja koksimäärän välinen suhde /22/

8.2.3. Masuunin toiminta HPS:n kanssa

Fukuyaman tehtailla pyritään käyttämään HPS:iä yhtä paljon kaikissa masuuneissa. Näin ollen HPS muodostaa n. 50 % masuunien panoksesta, joka koostuu palamalmista, pelleteistä, sintteristä ja HPS:stä. Taulukossa 12 on esitetty Fukuyaman masuunin No. 2 ajotuloksia ennen ja jälkeen HPS:n käyttöönoton.

Jaksolla 'A' masuunin panos koostui seuraavasti: 16 % palamalmia ja 84 % sintteriä ja jaksolla 'B' panoksen koostumus oli: 16 % palamalmia, 37 % sintteriä ja 47 % HPS:iä, joka korvasi 56 % sintteristä. /21/

Jaksolla 'A' koksen kulutus oli 531,4 kg/thm ja jaksolla 'B' 528,7 kg/thm. Korjatut koksen kulutukset ovat vastaavasti 531,4 kg/thm ja 525,5 kg/thm, tällöin jakson 'B' toiminta olosuhteet on säädetty vastaamaan olosuhteita jaksolla 'A'. /21/

Tämä korjaus tekee mahdolliseksi kunnollisen vertailun jaksojen 'A' ja 'B' välillä. Vähentämällä jaksojen korjatut koksen kulutukset toisistaan nähdään HPS:illä saavutettava pienempi koksen kulutus. 5,9 kg/thm:n koksen kulutuksen pieneneminen koostuu seuraavista tekijöistä: 3,3 kg/thm parantuneen pelkistyyvyyssindeksin RI ansiosta ja 2,6 kg/thm pienemmän kuonamäärän ansiosta. Tämä tulos on esitetty kuvassa 65. Kirjoittajat arvioivat, että korvattaessa sintteri täysin HPS:illä saadaan koksen kulutusta pienennettyä 10 kg/thm. /21/

Taulukko 12. Aiotuloksia Fukuyaman masuunilta No. 2 ennen ja jälkeen
HPS:n käyttöönoton /21/

Table 6 Operational results of Fukuyama No.2 blast furnace with the use of HPS.

		Base period 'A'	Period 'B'	Difference 'B'-'A'
Blast furnace burden				
Lump ore	℥	16.0	16.0	
Pellet	℥	0.0	0.0	
Sinter	℥	84.0	37.0	
HPS	℥	0.0	47.0	
Coke rate (observed)	kg/t	531.4	528.7	
Coke rate (corrected)	kg/t	531.4	525.5	-5.9
(Effect of increased RI)				(-3.3)
(Effect of decreased SR)				(-2.6)
Average RI	℥	66.3	70.1	3.8
Calculated SR	kg/t	330.0	321.0	-9.0

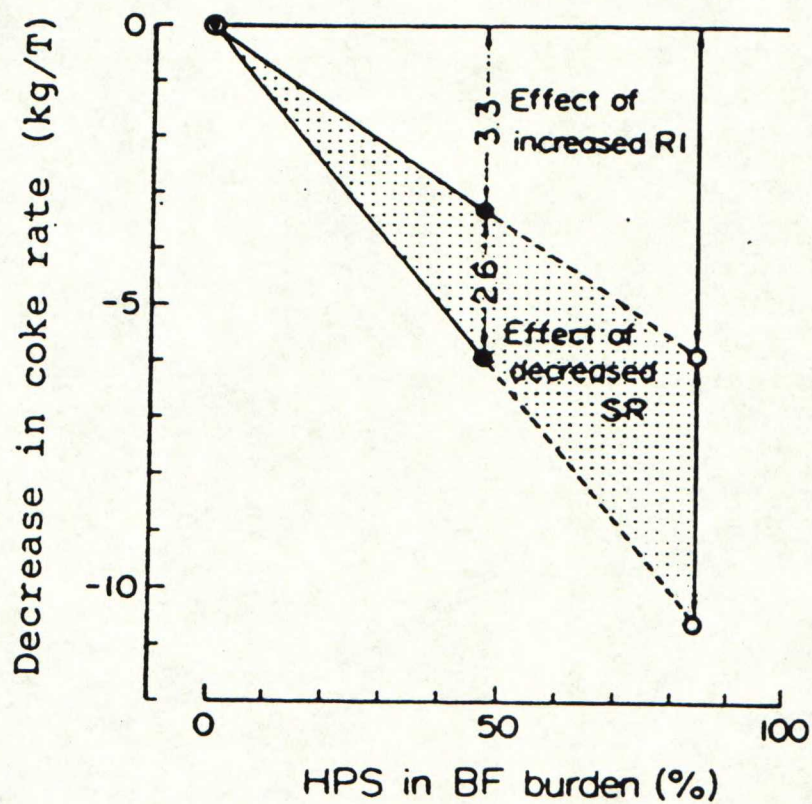


Fig.11 Effect of HPS on blast furnace operation.

Kuva 65. HPS:n vaikutus masuunin koksen kulutukseen /21/

KOKEELLINEN OSA

9. LAITTEISTO

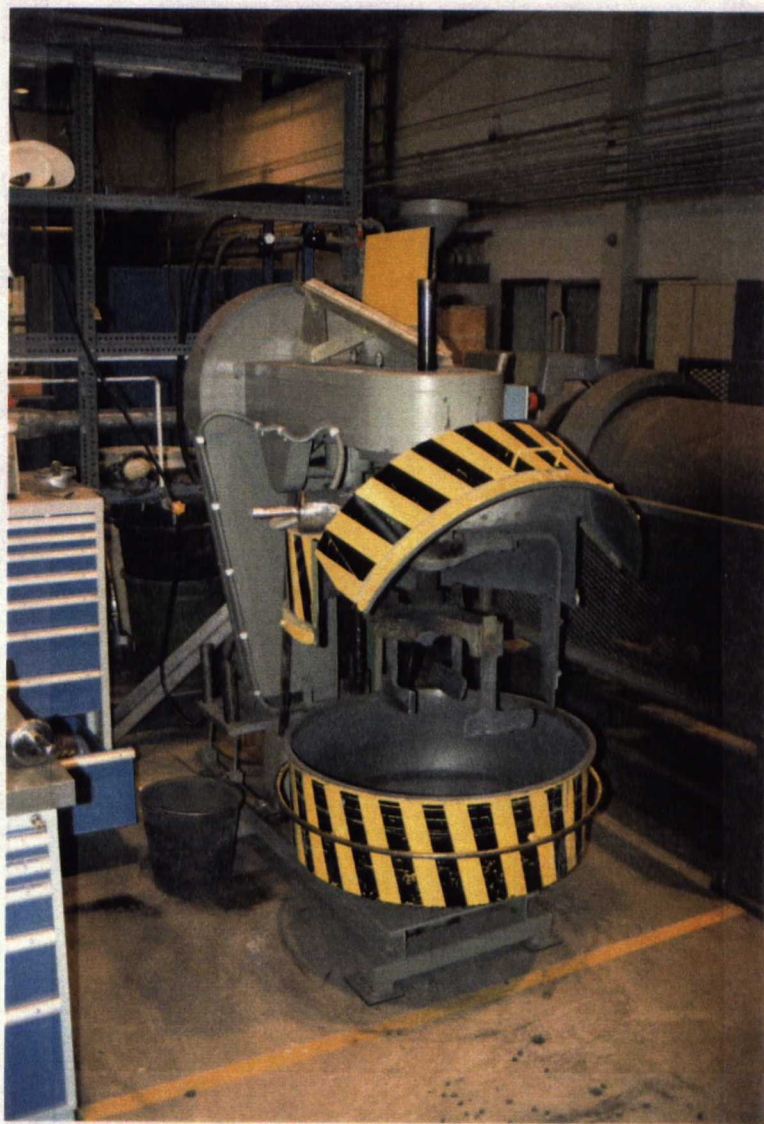
9.1. SINTRAUSSEOKSEN VALMISTUS

Sintteriseoksen sekoittamiseen käytetään tasosekoitinta, joka koostuu rum-pumaisesta, pyörivästä säiliöstä ja säiliöön nähden vastakkaisiin suuntiin pyörivistä sekoitussiivekkeistä, kuva 66. Rikasteet ja säätöaineet panostetaan sekoittimen rumpuun ja sekoitetaan ensin kuivana. Sekoitusaika kuivana on 3 minuuttia. Tämän jälkeen suoritetaan kosteuden mittausta ja kun tulos on selvillä lisätään sekoittimeen tarvittava vesimäärä jotta päästään haluttuun loppukosteuteen. Kosteudenmittaus suoritetaan laitteella, jossa tietty määrä kosteata materiaalia asetetaan lämpölampun alla sijaitsevaan vaakaan. Lämpölamppu kuumetessaan haihduttaa materiaalista kosteuden ja laite ilmoittaa materiaalin kosteuspitoisuuden kostean ja kuivan materiaalin painoeron perusteella. Myös vedenlisäyksen yhteydessä on sekoitusaika 3 minuuttia. Kun haluttu loppukosteus on saavutettu, suoritetaan pelletointi.

9.2. PELLETOINTILAITTEISTO

Pelletointia varten rakennettiin pelletointilautanen Dalsbruk Oy-Ab:n tehtaalla Koverharissa. Lautanen on halkaisijaltaan 120 cm ja sen reunankorkeus on 20 cm. Lautasessa on säädettävä kierrosnopeus (12-18 rpm) ja kallistuskulma (40-55°). Lautanen on sisäpinnaltaan vuorattu seulaverkolla. Kun materiaali pyörii lautasella, täyttää se seulaverkon reiät ja näin lautaseen muodostuu autogeeni-

nen vuoraus, joka parantaa materiaalin rullausominaisuuksia. Ilman seulaverkkoa on lautasen pinta liian sileä ja rullausta ei pääse kunnolla tapahtumaan, vaan materiaali liukuu lautasen pinnalla. Seoksen syöttö pelletointilautaselle tapahtuu hihnakuljettimella, jonka nopeus ja syöttöpaikka lautaselle ovat säädettävissä. Kuvassa 67 on esitetty pelletointilautanen, syöttökuljetin ja purkuränni.

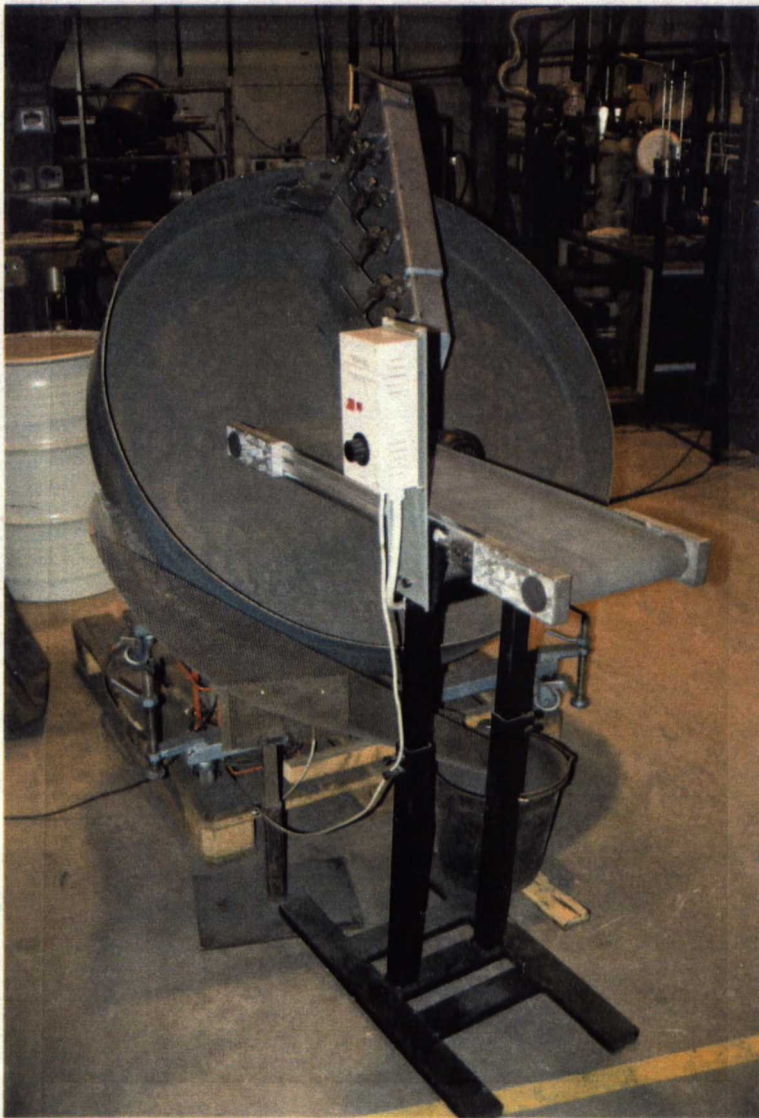


Kuva 66. Tasosekoitin avattuna, sekoitussiivekkeet näkyvissä

Koksinlisäys pellettien pinnalle tapahtuu myös pelletointilautasella varsinaisen pelletoinnin jälkeen suoritettavassa ns. sekundääripelletoinnissa.

9.3. SINTRAUSLAITTEISTO

Koksatut pelletit panostetaan käsin sintrauspannuun, joka reunavaikutuksen välttämiseksi on vuorattu sisäpuolelta hiekkakerroksella, kuva 68. Patja sytytetään **esilämmitetyllä** sytytyskehällä, jossa sytytyskaasuna toimii nestekaasu.



Kuva 67. Pelletointilautanen, syöttökuljetin ja purkuränni

Sintrauspannu on muodoltaan lieriömäinen, sen halkaisija on 500 mm ja siihen voidaan panostaa 400 - 600 mm paksuinen sintrauspatja.

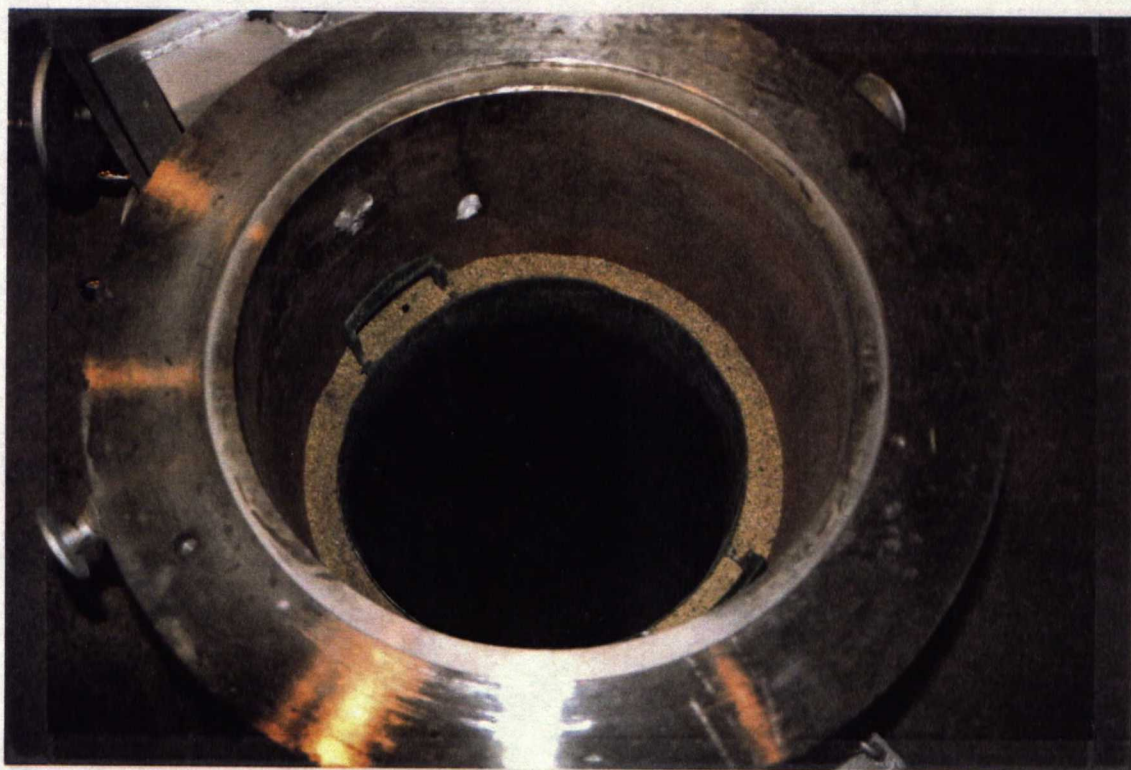
Sintrauksen etenemistä voidaan seurata tietokoneen avulla. Tietokoneohjelma saa tietoja lämpötiloista eri kohdista patjaa sintrauspannuun asennettujan termoelementtien avulla, sekä ilmamäärästä ja savukaasujen lämpötilasta. Saamiensa tietojen perusteella ohjelma laskee ja piirtää sintrauskäyrän kuvaruudulle, josta on koko ajan seurattavissa sintrauksen eteneminen. Esimerkkejä sintrauskäyristä on esitetty liitteessä. Sintraus päättyy, kun savukaasut saavuttavat maksimilämpötilansa. Jos palorintama etenee sintteripatjan läpi epätasaisesti, saavuttaa savukaasujen lämpötila maksimiarvon jo silloin, kun patja on palanut läpi vain yhdestä kohdasta ja muu osa patjasta ei ole vielä sintrautunut kokonaan. Jos sintraus lopetettaisiin tähän pisteeseen, saataisiin epätäydellisesti sintrautunut patja. Tämän estämiseksi jatketaan sintrausta vielä yhden minuutin ajan, jotta savukaasujen lämpötila ehtii kääntyä vielä uudelleen nousuun koko patjan palaessa läpi.

9.4. TESTILAITTEISTO

9.4.1. Pudotusmurskain

Sintrauksen päätyttyä pudotetaan panos pois sintrauspannusta ja murskataan ensin moukarilla pienemmiksi kappaleiksi. Tämän esimurskauksen jälkeen valmiille sintterille suoritetaan pudotuskoe, jossa kuuma sintteri pudotetaan kolme kertaa kolmen metrin korkeudesta pudotusmurskaimessa. Pudotusmurskain on korkea, käännettävä kaappi, jonka molemmissa päissä on läpillä suljettavat lokerot. Sintteri kaadetaan ensin toiseen lokeroon ja läpät suljetaan. Tämän jälkeen murskain käännetään siten, että sintterin sisältävä lokero tulee ylös. Kun

läpät nyt avataan, putoaa sintteri kolme metriä alaspäin murskaimen pohjalle. Nyt suljetaan toisen päään läpät ja murskain käännetään ylös alaisin ja toimenpide toistetaan. Pudotusmurskain on esitetty kuvassa 69. Seuraavaksi sintteri seulotaan 5 mm:n seulalla ja seulan alitteesta saadaan kuumapalaute. Sintteri pudotetaan vielä kaksi kertaa ja annetaan jäähtyä. Kylmäpalaute saadaan pudottamalla jäähtynyt sintteri vielä kolmesti ja seulomalla.



Kuva 68. Sintrauspannun vuoraus hiekalla suoritettiin liukumenetelmällä, jossa eri kerrosten rajapintana toimivaa muovilieriötä nostettiin sitä mukaa kuin panostus edistyi

9.4.2. Rumpulujuustesti

Sintterin kylmälujuutta eli kykyä kestää kuljetus sintraamolta masuunille ja panostusta masuuniin testataan rumpulujuuskokeella. Rumpulujuustestiin

punnitaan seulotusta sintteristä eri raekokoluokista ohjelman laskemissa suhteissa 15 kg:n panos. Testissä käytettävä rumpu on halkaisijaltaan 150 cm ja se on sisäpuolelta varustettu siivekkeellä, joka nostaa materiaalin ylös rummun pyöriesä ja pudottaa materiaalin taas alas rummun pohjalle. Rumpulujuustestissä rumpua pyöritetään nopeudella 25 rpm 8 minuutin ajan (200 kierrosta). Testin jälkeen materiaali seulotaan ja testin tulos ilmoittaa prosentteina kuinka paljon materiaalista jää ylitteeksi 6 mm:n seulalle.



Kuva 69. Pudotusmurskain

9.4.3. Isoterminen pelkistyyvyytesti IDR 40

Sintterille suoritetaan myös isoterminen pelkistyyvyytesti IDR 40. Testilaitte on putkiuuni, jossa näyte on 950°C:n lämpötilassa. Testi on gravimetrinen ja siinä mitataan hapen poistumisnopeutta (%/min.) näytteestä ko. lämpötilassa hetkellä, jolloin 40 % hapesta on poistunut. Pelkistävänä kaasuna toimii N₂/CO-seos, (CO 40 %, N₂ 60 %), jonka virtausmäärä on 20 l/min.

9.4.4. Pelkistyslujuus LTB

Sintterin kestävyyttä masuunin yläosissa tutkitaan matalan lämpötilan pelkistyslujuus- eli LTB-testissä (Low Temperature Breakdown). Testin aikana lämpötila nousee 600°C:en. Testi tapahtuu akselinsa ympäri, vaakatasossa pyörivässä rumpu-uunissa. Testin tulos ilmoittaa, kuinka suuri prosentti-osuus n. 500 g:n näytteestä säilyi murtumatta alle 6,3 mm:n raekokoon.

9.4.5. Korkean lämpötilan puristus-pelkistystesti

Korkean lämpötilan puristus-pelkistyyvyytesti suoritetaan pystyasennossa olevassa putkiuunissa. Noin 500 g:n näyte lasketaan uuniin. Uunin lämpötila kohoaa testin aikana ja näytteeseen kohdistuu koko ajan puristus (20 kPa). Näillä olosuhteilla pyritään simuloimaan olosuhteita masuunin kuilussa. Pelkistyskaasuna toimii N₂/CO-seos (30 % CO, 70 % N₂). Myös tässä testissä voidaan mitata näytteen pelkistyyvyys, mutta tällä kertaa nousevassa lämpötilassa ja erilaisella kaasukoostumuksella. Indeksinä käytetään dR/dt 40 ja pelkistyyvyys lasketaan poistokaasujen CO ja CO₂ analyysien perusteella. Koearvoista saatava

TK 50-tulos ilmoittaa lämpötilan, jossa näytteen kutistuma on 50 % ja TDP 10 on vastaavasti lämpötila, jossa painehäviö näytteen läpi on 10 mbar. Tämä simuloi lämpötilaa, jossa sulaa kuonaa ilmestyy näytteeseen ja täyttää sintterin huokosia. Taulukossa 13 on annettu Rautaruukki Oy:n laatuvaatimusten edellyttämät arvot eri testituloksille.

Taulukko 13. Rautaruukki Oy:n sintterin laatuvaatimukset

IDR 40	> 0,70
DR 40	> 0,60
Rumpulujuus	> 70 % (65 hyväksytään)
LTB +6,3 mm	> 80 %
TK 50	> 1300°C
TDP 10	> 1300°C

10. MATERIAALIT JA MENETELMÄT

10.1. PELLETOINTISEOKSESSA KÄYTETYT MATERIAALIT

Pelletointi- ja sintrauskokeissa käytettiin perusseoksena Rautaruukki Oy:n sintrausseosta, taulukko 14. Koska seos sellaisenaan ei sisällä tarpeeksi hienoa ainesta pelletoinnin kannalta, jouduttiin sitä lisäämään seokseen. Tämä lisäys suoritettiin korvaamalla osa MAF-rikasteesta pelletointihienouteen jauhetulla MAF-rikasteella. MAF:n ja pellettirikasteen seula-analyysi on esitetty taulukoissa 15 ja 16. Korvaussuhteina kokeiltiin 20, 40 ja 60 %- tasoja, tavoitteena oli mahdollisimman pieni korvausmäärä. 40 %:n korvaus osoittautui riittäväksi pelletoinnin onnistumisen kannalta. Tätä pienemmällä määrällä ei seoksessa ollut tarpeeksi hienoaainesta ja pelletoitumista ei tapahtunut.

Taulukko 14. Rautaruukki Oy:n sintrausseos

Panosaineet	%
Malmberget A-fines	60
Olenogorskin rikaste	20
Mustavaaran pellettimurska	4
Poltettu kalkki	2
Terässulaton kuona	2

Säätöaineet

Gotlannin kalkkikivi	7
Kvartsi	0,5
Oliviini	3
Mangaanimalmi	0,5

Taulukot 15 ja 16. MAF:n ja pellettirikasteen seula-analyysit

MAF			pellettirikaste		
mesh	mm	%	mesh	mm	%
	6.000			6.000	
10	2.000	0.84	10	2.000	
16	1.190	9.24	16	1.190	
20	0.841	12.38	20	0.841	
45	0.354	39.84	45	0.354	0.08
70	0.210	16.61	70	0.210	0.40
100	0.149	5.85	100	0.149	1.21
140	0.105	5.56	140	0.105	4.77
200	0.074	5.58	200	0.074	8.66
270	0.053	1.60	270	0.053	10.63
-270	-0.053	5.51	400	0.037	11.73
		100.00	-400	-0.037	62.52
					100.00

10.1.1. Lisäaineet

Lisäaineina pelletoinnissa käytettiin poltettua kalkkia ja bentoniittia sekä orgaanisia lisäaineita Alcotac ja Peridur. Käytetyt määrät kullakin lisäaineella oli valittu seuraavin perustein:

poltettu kalkki: Rautaruukki Oy:n sintrausprosessi (0 - 3,0 %)

bentoniitti: kirjallisuus (0 - 1,5 %)

Alcotac: valmistajan suositus (0 - 0,075 %)

Peridur: julkaistut artikkelit (0 - 0,075 %)

Lisäaineet lisättiin seokseen ja sekoitettiin tasosekoittimessa. Orgaanisilla lisäaineilla kokeiltiin sekoitusta sekä kuivaan että kosteaan seokseen ja todettiin, että sekoittamalla lisäaine kosteaan seokseen saadaan lujempia pellettejä.

10.2. PELLETTISINTRAUSPROSESSIN KUVAUS

Aluksi punnitaan ja sekoitetaan rikasteet ja seosaineet, jotka panostetaan tasosekoittimeen. Materiaalit sekoitetaan kuivana 3 minuttia, jonka jälkeen mitataan seoksen kosteus. Tämän jälkeen lisätään tarvittava vesimäärä, jotta päästään haluttuun tavoitekosteuteen. Lisäaine lisätään joko kuivaan tai kosteaan seokseen. Kun haluttu kosteus on saavutettu ja lisäaine lisätty, aloitetaan pelletointi.

Materiaalin syöttö pelletointilautaselle tapahtuu hihnakuuljettimella, jolle materiaali annostellaan käsin. Hihnan nopeus ja syöttöpaikka ovat säädettävissä. Syöttö suoritetaan lautasella kohtaan, jossa pelletoitumaton materiaali vierii alaspäin ja pellettien muodostuminen alkaa. Lautaselle syötettävä materiaalmäärä on 120-140 kg. Lautanen purkaa valmiit pelletit 3 mm:n seulalevystä valmistettuun ränniin, jota pitkin valmiit pelletit pyörivät ämpäriin. Seularännin alite palautetaan pelletointilautaselle kiertokuormana.

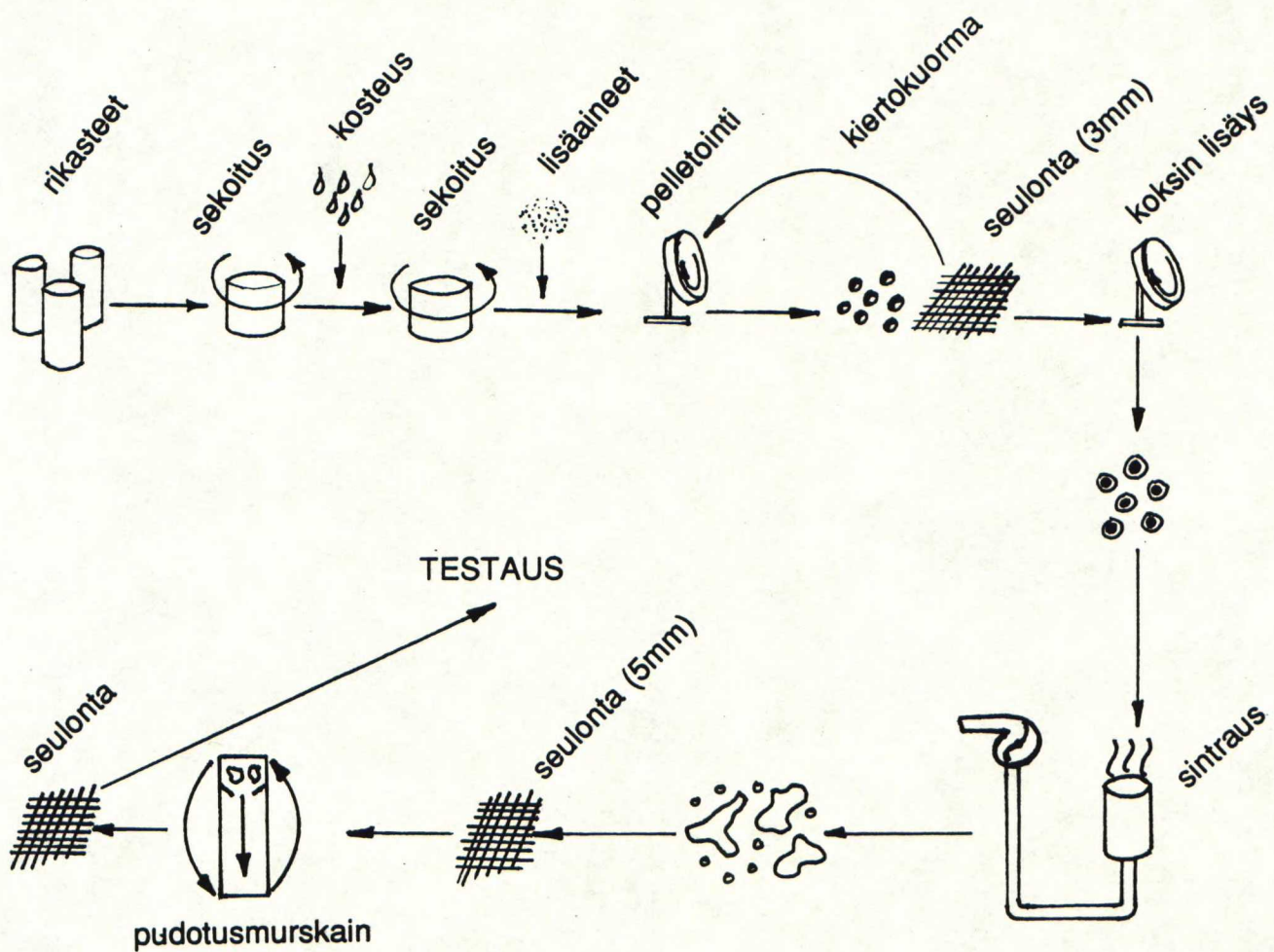
Valmiit pelletit punnitaan ja lasketaan käytettävä koksimäärä. Koksinlisäys pellettien pinnalle suoritetaan pelletointilautasella panosperiaatteella viidessä erässä. Koksilla päällystetyt pelletit panostetaan sintrauspannuun manuaalisesti.

Sintrauspannun reunaefektin välttämiseksi vuorataan pannu sisäpuolelta 50 mm:n hiekkakerroksella. Sintrauspannuun panostetaan 400 mm:n patja, jonka paino vaihtelee välillä 65 - 73 kg riippuen pellettien koosta ja pelletoinnin onnistumisesta. Pelletit pyritään pitämään kooltaan pellettisintrauksen kannalta optimaalisessa 5-10 mm:ssä, mutta johtuen laboratoriolaitteiston ominaisuuksista ei prosessia saada täysin jatkuvaksi ja tästä syystä usein pelletoinnin alussa syntyy pieniä pellettejä, joukossa myös alle 5 mm, ja lopussa suuria, joskus jopa 15-20 mm halkaisijaltaan olevia pellettejä, joita ei puutteellisen seulonnan vuoksi saada erotettua joukosta. Myös prosessin osittaisesta panosluonteesta johtuvan materiaalmäärän rajoitusten vuoksi ei liian suuria ja liian pieniä pellettejä voida poistaa sintrauspanoksesta.

Sintrauksen jälkeen sintteri testataan edellä kuvatuilla testausmenetelmillä. Kun sintteri on kaadettu pois pannusta, murskataan se ja pudotetaan pudotusmurskaimessa 3 kertaa 3 m:n korkeudesta. Tämän jälkeen sintteri seulotaan ja 5 mm:n seulan alite on sintrauksen kuumapalaute. Sintterin jäähtyttyä suoritetaan sille uusi pudotuskoe (3 kertaa, 3 m). Kokeen jälkeen sintteri taas seulotaan ja 5 mm:n seulan alite on kylmäpalaute.

kuumapalaute + kylmäpalaute = palaute

Palauteprosenttina pidettiin koesarjan alkupuolella normaalia koesintrausten palauteprosenttia, joka on 30, mutta kokeissa osoittautui, että onnistuneessa pellettisintrauksessa palautemäärä asettuu lähelle 20 %:a ja loppupuolella otettiin käyttöön tämä palauteprosentti. Seulonnan jälkeen sintterin eri raeluokista kerätään näytteet testausta ja rumpulujuuskoetta varten. Prosessikaavio on esitetty kuvassa 70.



Kuva 70. Pellettisintrauskokeiden prosessikaavio

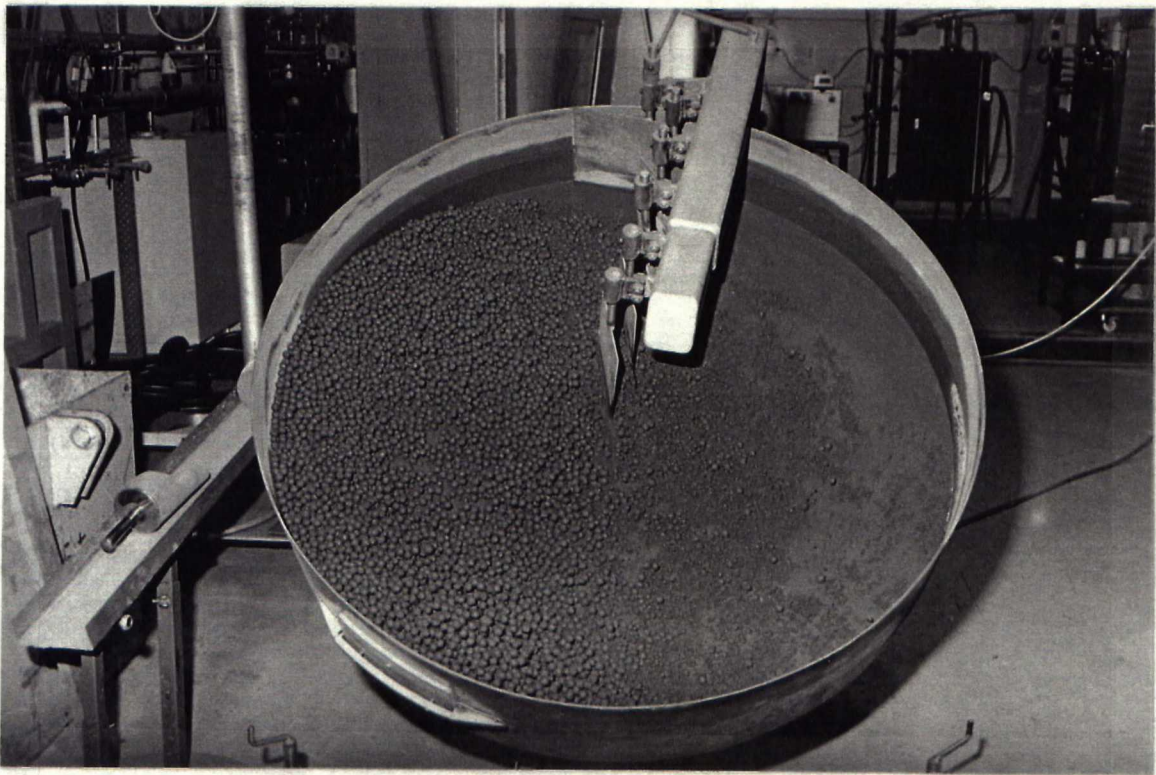
11. TULOKSET

11.1. PELLETOINTIKOKEET

Tutkimus aloitettiin sarjalla pelletointikokeita, joissa lautasella pelletoitua 30 kg:n panosta ei sintrattu, vaan pelletit testattiin märkinä. Niille suoritettiin seuraavat testit:

1. pudotuskoe (25 cm)
2. puristuskoe
3. pelletoituvuuskoe pakastamalla (ei kaikille panoksille)

Pelletointikokeet suoritettiin käyttäen eri lisäaineita ja eri lisäainepitoisuuksia perusseoksen pysyessä koko ajan samana (Rautaruukin sintrausseos, jossa 40 % MAF:sta korvattu MAF-pellettirikasteella). Tavoitekosteus oli 6,6 %, johon osuttiin tarkkuudella $\pm 0,2$ %. Oheisesta taulukosta 17 nähdään käytetyt lisäaineet, niiden määrät ja seoksen loppukosteus sekä pudotus- ja puristuslujuus tulokset. Kuvassa 71 on pelletointi lautasella loppuvaiheessaan.



Kuva 71. Pelletointi

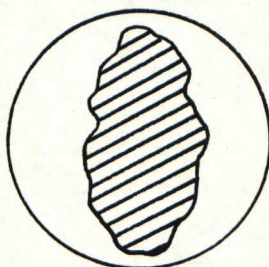
11.1.1. Pudotus- ja puristuslujuuskokeet

Taulukko 17. Pudotus- ja puristuslujuuskoetulokset

	ILMAN LISÄAIN.	POLTETTU KALKKI %		BENTONIITTI %		1.5	PERIDUR %			ALCOTAC %		
		1.5	3	0.5	1		0.025	0.05	0.075	0.025	0.05	0.075
pudotus	6	11	18	14	15	19	13	10	16	12	19	28
puristus	850	880	780	1460	1640	630	800	610	830	540	630	640

Pudotuskoe suoritetaan valitsemalla satunnaisesti pellettien joukosta 30 pellettiä, jotka pudotetaan 25 cm:n korkeudesta kovalle alustalle. Pelletti katsotaan särkyneeksi kun siinä havaitaan ensimmäinen halkeama. Kokeen tulos kertoo, kuinka monta pudotusta pelletti säilyy ehjänä.

Puristuskokeessa pellettiä puristetaan tasaisesti kahden levyn välissä vaakaa vasten ja kun pelletti särkyi, luetaan vaakalukema, joka ilmaisee kuinka monen gramman kuormituksen pelletti kestää. Puristuskokeen heikkous tämän kokoisilla (5-10 mm) pelleteillä on se, että pelletin ydinpartikkeli saattaa joissakin tapauksissa olla jossakin suunnassa lähes yhtä suuri kuin pelletin halkaisija (kuva 72). Tällöin pelletti ei puristettaessa tässä suunnassa rikkoudu lainkaan ja näin saadaan virheellisiä puristuslujuusarvoja.



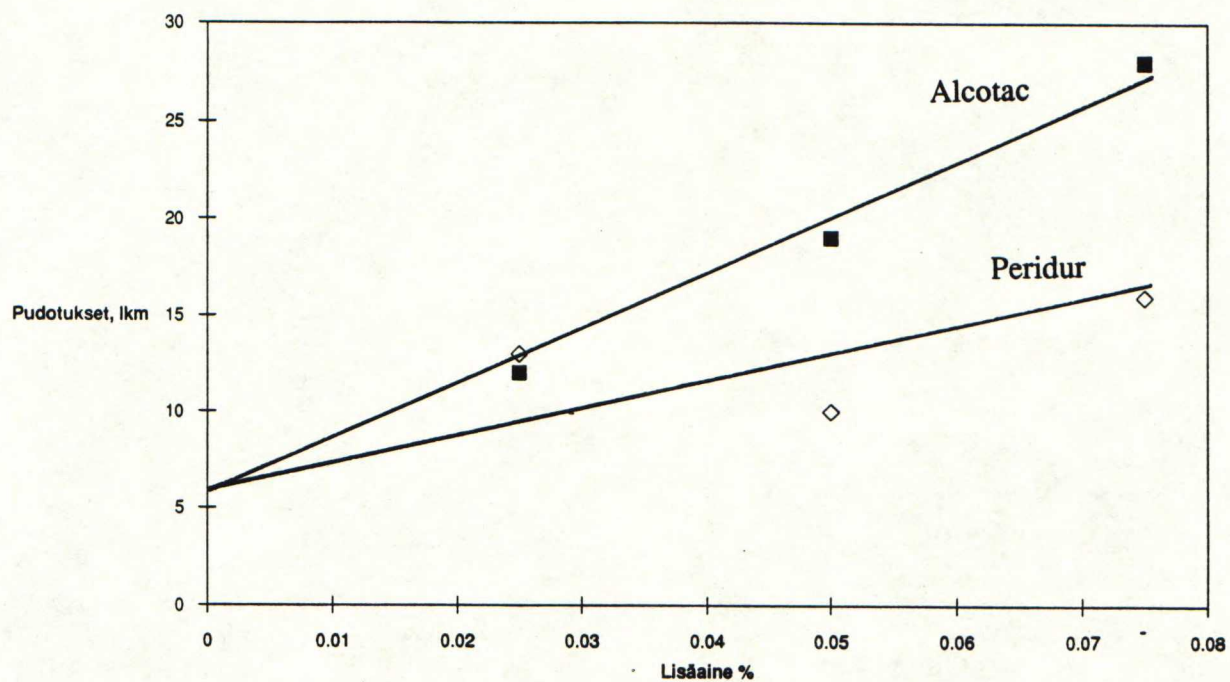
Kuva 72. Tilanne, jossa ydinpartikkeli on lähes pelletin halkaisijan kokoinen

Kuvissa 73 ja 74 on esitetty pudotuskokeiden tulokset. Tulokset Alcotac- ja Peridur-lisäyksillä on esitetty Kuvassa 73 ja tulokset bentoniitti- ja poltettu kalkkilisäyksillä kuvassa 74. Alcotac- ja Peridur- lisäykset ovat välillä 0 - 0,075 %, bentoniittia lisättiin 0 - 1,5 % ja poltettua kalkkia 0 - 3,0 %. Kuvista nähdään, että Alcotac:illa, joka on synteettinen, orgaaninen lisäaine, päästään suureen lujuuteen jo varsin pienellä lisäyksellä. Valmistajan suosittelema määrä on 0,05 % lisättynä kosteaan seokseen. Tällä määrällä saavutetaan pudotuskokeessa tulos 19. Suurimmalla kokeissa käytetyllä lisäyksellä (0,075 %) saavutettiin tulos 28

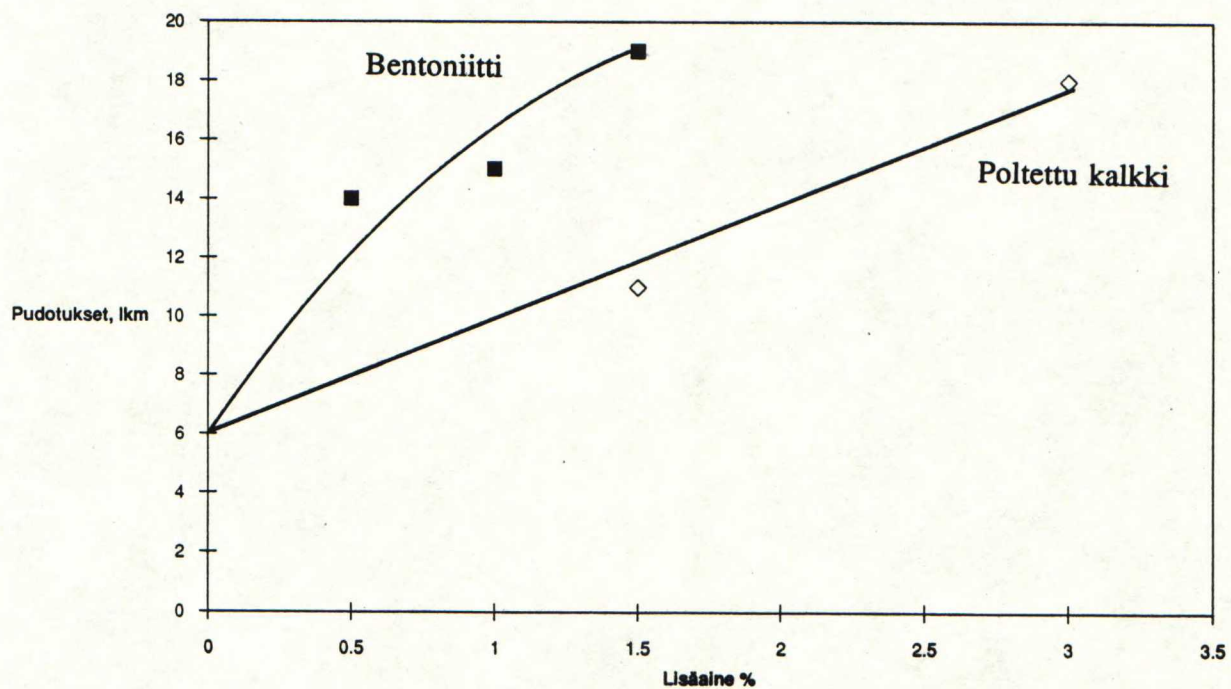
pudotusta. Toisella orgaanisella lisäaineella, Peridurilla, saavutettu tulos oli 16, joka on aivan tyydyttävä, mutta tällöin tarvittava lisäys oli 0,075 %. 0,05 %:n lisäyksellä päästään tulokseen 13 pudotusta. Bentoniitilla päästiin myös hyviin tuloksiin, mutta sen käytöllä on haittapuolensa masuunissa johtuen sen sisältämisestä piidioksidista ja alkaleista. Käytettäessä normaaleja lisäysmääriä poltettua kalkkia (0 - 3,0 %) saadaan lähes samat tulokset kuin Peridur-lisäyksillä 0 - 0,075 %.

Tyydyttävä tulos pudotuskokeessa riippuu prosessiolosuhteista, joihin märkä pelletti (green pellet) joutuu matkallaan pelletointilautaselta sintrauskoneen arinalle. Tällä matkalla pelletti joutuu alttiiksi erikorkuisille pudotuksille, hankaukselle, puristukselle ja iskuille. Näin ollen erilaisissa kuljetin- ja syöttöjärjestelmissä vaaditaan pelletiltä erilaista lujuutta. Useissa tapauksissa 12 pudotusta on riittävä lujuus ja yleensä pudottaminen lopetetaan jos pelletti kestää 20 pudotusta, koska tämän suurempaa lujuutta ei normaalisti vaadita.

Voidaan todeta, että kaikilla kokeilluilla lisäaineilla päästään riittävään lujuuteen kun käytetty määrä on tarpeeksi suuri. Näin ollen kaikki kokeillut lisäaineet ovat teknisesti käyttökelpoisia pellettisinterin valmistuksessa. Orgaanisia lisäaineita (Alcotac ja Peridur) käytettäessä todettiin, että pellettien lujuus lisääntyi huomattavasti, kun aine lisättiin kosteaan seokseen kuivan sijasta. Alcotac:illa koe suoritettiin kahdella eri pitoisuudella: 0,05 % ja 0,075 %, tuloksen parannus oli vastaavasti näillä pitoisuuksilla 6 -> 19 pudotusta ja 17 -> 28 pudotusta lisättäessä aine kosteaan seokseen.

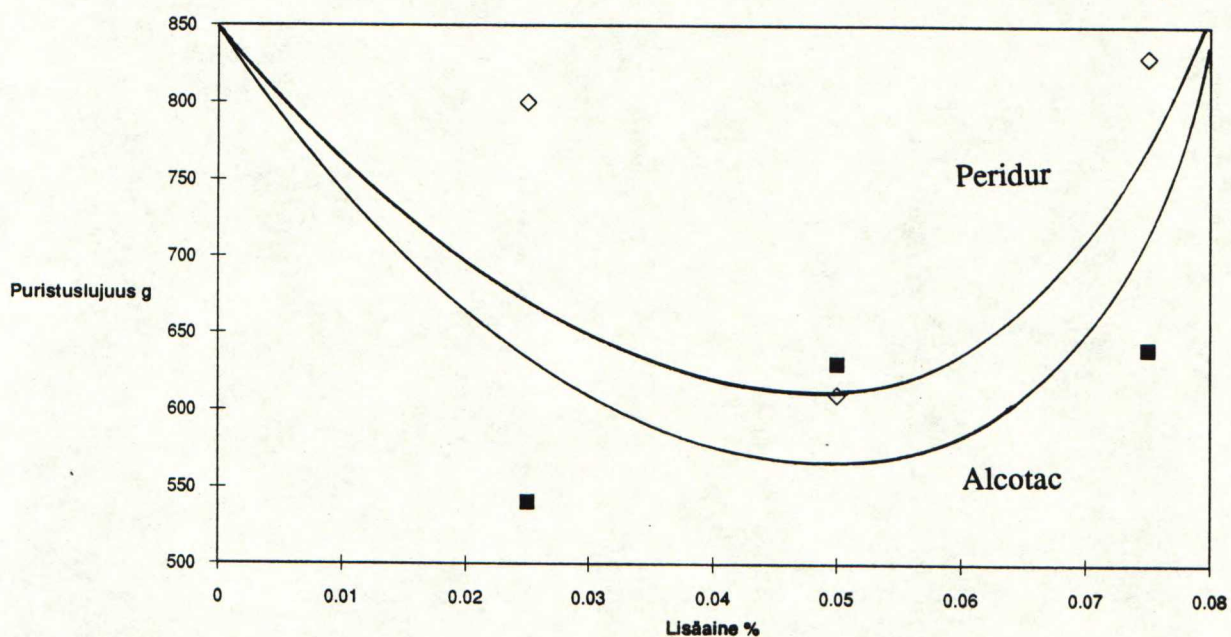


Kuva 73. Pudotuslujuuskäyrät Alcotacilla ja Peridurilla

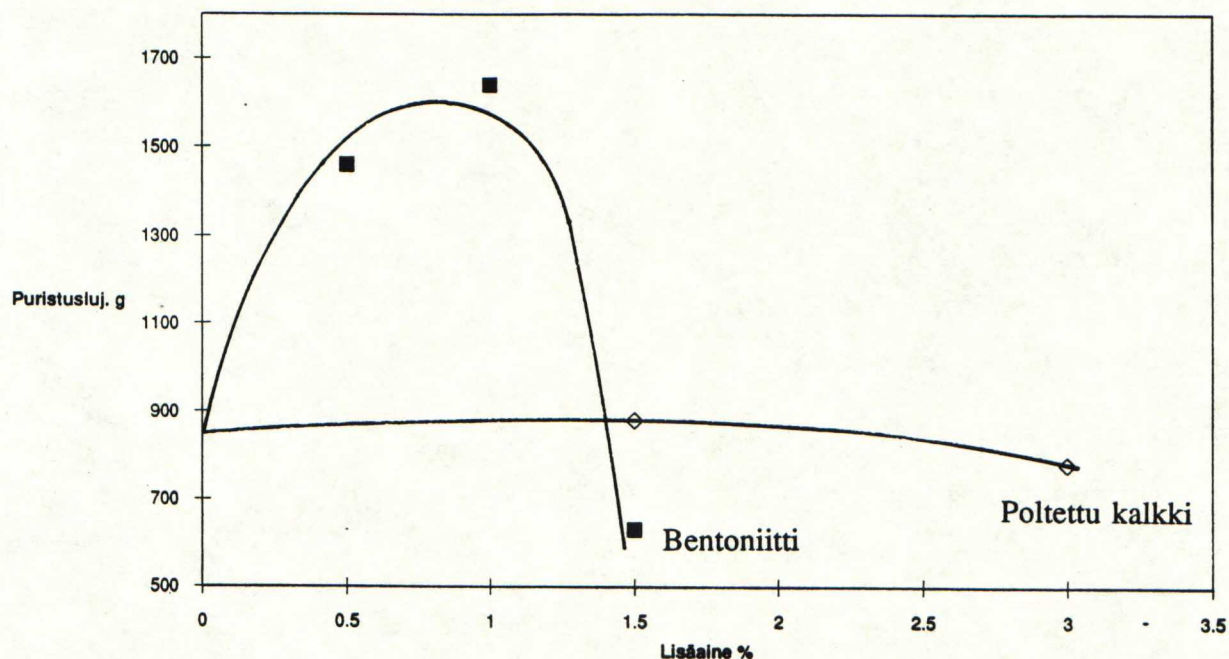


Kuva 74. Pudotuslujuuskäyrät poltetulla kalkilla ja bentoniitilla

Myös puristuskokeeseen valittiin 30 pellettiä jokaisesta panoksesta jotka testattiin puristamalla niitä tasaisesti vaakalevyä vasten. Kuvista 75 ja 76 nähdään, että poltetu kalkki ja bentoniitti käyttäytyvät keskenään samankaltaisesti kun taas orgaaniset lisäaineet Alcotac ja Peridur saavat aikaan keskenään samankaltaiset lujuuskäyrät.



Kuva 75. Puristuslujuuskäyrät Alcotacilla ja Peridurilla



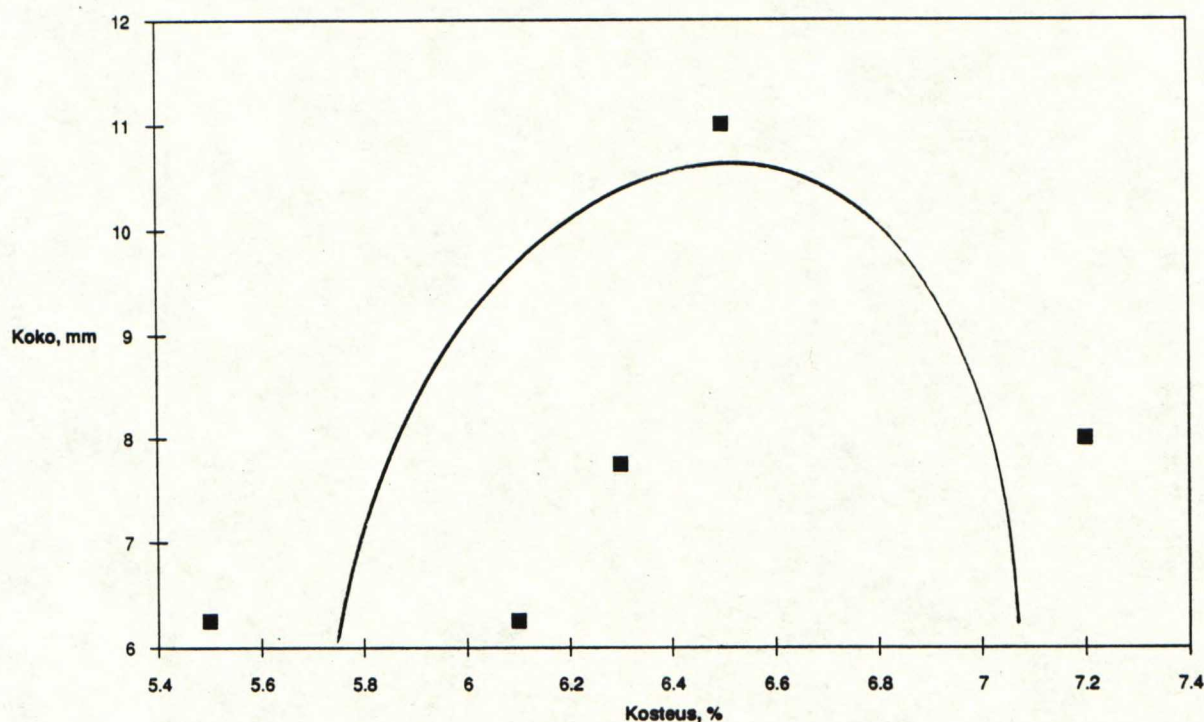
Kuva 76. Puristuslujuuskäyrät poltetulla kalkilla ja bentoniitilla

Saadut tulokset näyttävät, että poltetulla kalkilla ja bentoniitilla on tietty optimipitoisuus, jolla päästään suurimpaan lujuuteen ja Alcotac:illa ja Peridurilla puolestaan on pitoisuus, jolla lujuus on heikoimmillaan. Suurin lujuus puristuskokeissa saavutettiin bentoniitilla. Pitoisuudella 1,0 % saatiin lujuudeksi 1640 g. Seuraavaksi paras tulos saatiin Alcotac:illa pitoisuudella 0,075 %, 1160 g. Poltetulla kalkilla ja Peridurilla tulos jäi alle 900 g:n.

11.1.2. Kosteuden vaikutus pellettien kokoon

Kosteuden vaikutusta pelletoituvuuteen kokeiltiin kosteuspitoisuuksilla 5,5, 6,1, 6,4, 6,5, 6,6 ja 7,2 % käyttäen lisäaineena 0,075 % Alcotac:ia. Kuvasta 77 nähdään, että optimikosteus pelletoituvuuden kannalta on n. 6,5-6,6 %. Tämä

tulos on kuitenkin saatu pienellä 30 kg:n panoksella ja onkin osoittautunut, että kun prosessi on jatkuva, on paras kosteuspitoisuus jonkin verran korkeampi käytetylle seokselle. Kun pelletointiprosessi on jatkuva, saadaan paras pelletointitulokseen kun kosteus on n. 6,9 - 7,2 %. Pelletointitulosta tutkittiin pakastamalla 500 g:n erä pelletoitua materiaalia ja suorittamalla pakastetulle materiaalille seula-analyysi. Todettiin, että pelletoinnin onnistuessa toivotulla tavalla päästään parhaimmillaan pelletointitulokseen, jossa > 90 % pelleteistä on pellettisitrauksen kannalta optimaalisessa kokoluokassa 5-10 mm. Tämä tulos oli myös toistettavissa useita kertoja, mutta kokeet osoittivat myös sen, että pelletoinnin onnistuminen on erittäin herkkä oikealle kosteudelle kuten myös hienon aineksen läsnäololle seoksessa. Liian pienellä kosteuspitoisuudella (kokeissa pitoisuudet 5,5 ja 6,1 %) ei pelletointi onnistu käytännöllisesti katsoen lainkaan ja kun kosteus nousee liian suureksi, käytetyllä seoksella > 7,3 %, alkaa seos liejuuntua ja pelletointitulokseen huononee. Jos hienoainesmäärä on liian pieni, ei pelletointi etene kunnolla, ja lautaselle jää pyörimään suuri määrä karkeita partikkeleita, jotka eivät kykene tarttumaan toisiinsa ja muodostamaan pellettejä.



Kuva 77. Kosteuden vaikutus pelletoituvuuteen

11.2. PELLETTISINTRAUSKOKEET

Pelletointikokeissa tutkittiin oikeaa kosteuspitoisuutta käytettävälle seokselle sekä lisäaineiden vaikutusta pellettien lujuuteen. Todettiin, että kaikki lisäaineet parantavat pellettien lujuutta ja että mikään kokeilluista lisäaineista ei ole pois suljettu mahdollisuus sintrauskokeita varten. Sintrauskokeet suoritettiin kuitenkin käytännössä vain yhtä lisäainetta käyttäen, koska ei haluttu ottaa liikaa muuttujia sintrauskokeisiin. Lisäaineeksi valittiin orgaaninen lisäaine Alcotac, koska sillä saavutettiin pelletointikokeissa suurin lujuus määritetyissä pelleteissä.

Sintrauskokeet aloitettiin samalla tavoitekosteudella, 6.6 %, joka oli havaittu sopivaksi pelletointikokeissa, mutta pian osoittautui, että kosteuden täytyy olla jonkin verran korkeampi prosessin ollessa jatkuva. Sopiva kosteus sintrauskokeisiin on 6,9 - 7,2 %. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että sintrauskokeessa panos on huomattavasti suurempi, 120 - 140 kg, ja pelletointiprosessi täten selvästi ajallisesti pitempi jolloin kosteutta ehtii haihtua seoksesta enemmän. Pelletoinnin aikana ruiskutetaan lautaselle lisäksi vettä maaliruiskun avulla.

Pellettisintraus osoittautui erittäin herkäksi ja mutkikkaaksi prosessiksi, jossa on monta onnistumiseen vaikuttavaa tekijää. Pelletoinnin onnistumiseen vaikuttavat tekijät, kosteus ja hienoaineksen määrä, käsiteltiin jo pelletointikokeiden yhteydessä. Lisäksi sintrauksen onnistumiseen vaikuttaa useita muita parametreja.

Koksin määrällä, lisäystavalla ja raekokojakaumalla on suuri merkitys sintrauksen onnistumiselle. Koksia on oltava tarpeeksi, jotta syntyisi riittävästi lämpöä agglomeraattien aikaan saamiseksi. Ylimäärä koksia synnyttää liikaa lämpöä ja patja sulaa, mikä puolestaan heikentää patjan permeabiliteettia ja ilman kulkua patjan läpi ja seurauksena on sintrausajan piteneminen. Koksi voidaan lisätä joko pelletin pinnalle ns. sekundääripelletoinnissa tai pelletin sisälle varsinaisen pelletoinnin yhteydessä tai sitten näiden välimuotona. Pellettisintrauksessa paras tapa on lisätä koksi pelletin pinnalle, koska tällöin sen palaminen on tehokkainta ja agglomeraatteja syntyy parhaiten. Koksi voidaan lisätä joko rummussa tai

pelletointilautasella ja lisäksi voidaan koksia lisätä eri määriä patjan pinnalle ja sisäosiin. Koksin raekoolla on merkitystä sen tarttuvuuteen pelletin pinnalle.

Eräs ongelma sintrauksessa on sintrauspannun reunavaikutus. Pannun paksu teräskylki vie lämpöä ja ilma toisaalta pyrkii virtaamaan patjan läpi seinämän viertä pitkin. Nämä ongelmat saatiin ratkaistua vuoraamalla pannun sisäreuna n. 50 mm paksulla hiekkakerroksella. Hiekka eristää patjan pannun reunasta ja hyvin juokseva hiekka myös kompensoi sintrauksen aikana tapahtuvan patjan kutistumisen ja täten ilma ei pääse virtaamaan läpi patjan reunaa pitkin.

Kun kosteuden ja hienoaineksen määrä oli säädetty kohdalleen ja pelletointi saatu onnistumaan, aloitettiin sintrauskokeet. Taulukossa 16 on esitetty yhdeksän suoritettujen sintrauksen ajotiedot (kosteus, alipaine, käytetty lisäaine, sytytysaika ja käytetty koksimäärä) sekä testitulokset (Fe, emäksisyys, FeO, DR 40, LTB, IDR 40, TK 50 ja TDP 10) ja saatu palautemäärä, panoksen massa ja sintrausaika. Kokeet aloitettiin koksipitoisuudella 3,0 %, jossa polttoaineen hiilipitoisuus on 80 %. Koksin raekoko on 0,0 - 0,5 mm 50 % ja 0,5 - 1,0 mm 50 %. Sytytysaika oli n. 90 sekuntia jolloin pinnassa olevan termoelementin lämpötila nousi n. 1250°C:en. Sintrauksen jälkeen todettiin, että patjan pinta n. 50 mm:n syvyydeltä ei ollut sintrautunut. Pinnalla olevat pelletit olivat ainoastaan kuivuneet ja ne murenivat erittäin herkästi. Sisäosista patja oli sintrautunut ja paikka paikoin sulanut. Agglomeraatteja oli vähän ja niissäkin pellettien välinen sidos oli löyhä. Yksittäiset pelletit patjan sisäosissa olivat kuitenkin hyvin sintrautuneita ja lujia.

Taulukko 18. Sintraustietoja ja testituloksia suoritetuista pellettisintrauksista

kost	alip	pal	lisäaine	Fe	emäks	FeO	DR 40	LTB	IDR 40	TK 50	TDP 10	panos	aika	koksi pinta	koksi sisä
6.9	1000	37	AT 0.075	59.09	0.92	8.56	0.46	70.07	0.67	1326	1165	70	24.7	3.3	3
6.9	900	30.4	AT 0.075	60.75	1.23	3.09		75.54	0.76			67.2	21.5	3.85	3.5
6.9	1000	22.9	AT 0.075	61.59	1.18	3.4		78.55	0.72			72.6	20.9	4.4	4
7.2	500	14.5	AT 0.075	60.84	1.47	7.04	0.66		0.75	1360	1281	71.5	39.5	4.4	4
7.1	1000	22.7	POKA 2.0	59.7	1.62	10.2	0.58	87.51	0.6	1375	1308	71.7	20	4.95	4.5
7	1000	18.1	AT 0.075	60.99	1.25	14.6	0.32	92.91	0.6	1305	1243	71.6	42.3	9	4.5
7.2	1000	22.9	AT 0.075	59.34	1.4	6.89	0.71	86.37	0.8	1337	1232	73	50.2	5	1.5
7.2	1000	24.4	AT 0.075	59.63	1.68	5.78	0.74	79.93	0.82	1325	1299	70.4	35.4	4	2
7.1	1000	18.2	AT 0.075	59.9	1.64	7.67	0.64	93.98	0.75	1375	1284	71.9	37.1	4	3
Rautaruukin laatuvaatimukset							>0.6	>80%	>0.7	>1300	>1300				

Taulukosta 18 nähdään, että FeO- pitoisuus, joka ilmaisee sintterissä 2-arvoisen raudan määrää, pitäisi olla koesintterissä vähintään 7 %. Pellettisintrauskokeissa se vaihtelee välillä 3,09 - 14,6 %. Vaihtelu on varsin suurta, johtuen mm. siitä, että sintterin laatuun vaikuttavia parametrejä ei juuri ehditty optimoida, koska pelkästään onnistuneen sintrauksen aikaansaaminen osoittautui aikaa vieväksi ongelmaksi. Toiseksi palolämpötilat vaihtelivat melkoisesti johtuen eri koksipitoisuuksista. Kuitenkin voidaan todeta, että testituloksista löytyy varsin hyviäkin FeO-pitoisuuksia. Sama pätee myös korkean lämpötilan puristuspelkistystestien tuloksiin, isotermisen pelkistystestin (IDR 40) ja LTB:n tuloksiin. Huolimatta hajonnasta löytyy joukosta myös täysin Rautaruukki Oy:n laatuvaatimukset täyttäviä arvoja. Kaikki testatut pellettisintterit täyttävät TK 50:lle asetetun laatuvaatimuksen, 1300°C, joten pellettisintterin kutistuma ei ilmeisesti ole ongelma korkeassa lämpötilassa. TDP 10-lämpötila sitä vastoin jää useimmissa tapauksissa jonkin verran laatuvaatimuksen asettamasta 1300°C:n rajasta. Patjan pinnalla olevien pellettien heikko sintrautuminen osoittautui vaikeasti ratkaistavaksi ongelmaksi. Ko. pellettien sintraamiseen kokeiltiin patjan pintakerroksessa 10 %:n koksilisäystä. Näin pyrittiin saamaan pintakerrokseen lisää lämpöä, jotta myös pintapelletit sintrautuisivat. Tämä ei kuitenkaan tuonut toivottua tulosta. Seuraavissa kokeissa hiilipitoisuutta nostettiin edelleen seuraavasti: 3,2, 3,3, 3,5, 4,0 ja 4,5 %. Tämän lisäksi otettiin käyttöön pinnan esilämmitys 300°C:en, jonka tarkoituksena on pellettien kuivattaminen lämpöshokin vaikutuksen pienentämiseksi. Koko ajan käytettiin myös pinnassa 10 %:n lisäkoksia. Polttoaineen lisäyksen seurauksena patjan sisäosissa tapahtui entistä enemmän sulamista ja sintrausajat pitenivät huonontuneen permeabiliteetin seurauksena. Patjan pinta pysyi kuitenkin edelleen sintrautumattomana. Kokeiltiin myös alipaineen pienentämistä muissa kokeissa käytetystä 1000 mmAq:sta 500 mmAq:een, jonka tarkoituksena oli saada lämpö pysymään pitempään patjassa ja näin saamaan aikaan pinnan sintrautuminen ja lujempia agglomeraatteja patjan sisäosiin. Koksipitoisuutta patjan pinnalla nostettiin jopa 9,0 %:in. Nämä toimenpiteet eivät kuitenkaan parantaneet tulosta.

Seuraavaksi pidennettiin sytytysaikaa, jotta patjan pintaan saataisiin lisää lämpöä ja myös pinnalla olevat pelletit sintrautuisivat ja agglomeroituisivat. Sytytysaika pidennettiin aluksi 4,5 minuuttiin koksipitoisuuden ollessa 4,5 % patjan sisällä ja 9,0 % patjan pinnalla. Patjan pintaan ei edelleenkään muodostunut agglomeraatteja, vaikka sytytyslämpötila kohosi peräti 1400°C:en. Patjan sisäosissa tapahtui sensijaan entistä enemmän sulamista ja sulan tukkiessa patjan huokoset permeabiliteetti heikkeni ja sintrausajat pitenivät. Seuraavassa sintrauksessa vähennettiin koksipitoisuutta patjan sisällä 3,0 %:in sytytysajan ja pintakoksin pysyessä edellisissä arvoissa. Tulos oli sama kuin edellä: pinta ei agglomeroitunut ja sisäosat sulivat. Tämän jälkeen vähennettiin sekä pinta- että sisäkoksia (7,0 % ja 2,5 %), sytytysaika pidettiin 4,5 minuutissa. Koska tämäkään ei johtanut toivottuun tulokseen, lyhennettiin seuraavaksi sytytysaikaa 3 minuuttiin, mutta ongelma pysyi edelleen samana. Tuon sintrauksen jälkeen oli vielä mahdollista suorittaa viisi sintrausta. Näissä lopuissa sintrauksissa pidettiin sytytysaikana 3 minuuttia, koska tällä sytytysajalla sytytyslämpötila saatiin pysymään n. 1300 - 1350°C:ssa. Koksipitoisuuksia patjan pinta- ja sisäosissa vaihdeltiin taulukosta 19 ilmenevällä tavalla.

Taulukko 19. Käytetyt koksipitoisuudet kun sytytysajat olivat 4,5 - 3 minuuttia

sytytysaika	koksipitoisuus	
	pinta	sisä
4.5	9	4.5
4.5	9	3
4.5	7	2.5
3	7	2.5
3	7	1.7
3	5	1.5
3	4	2
3	4	3

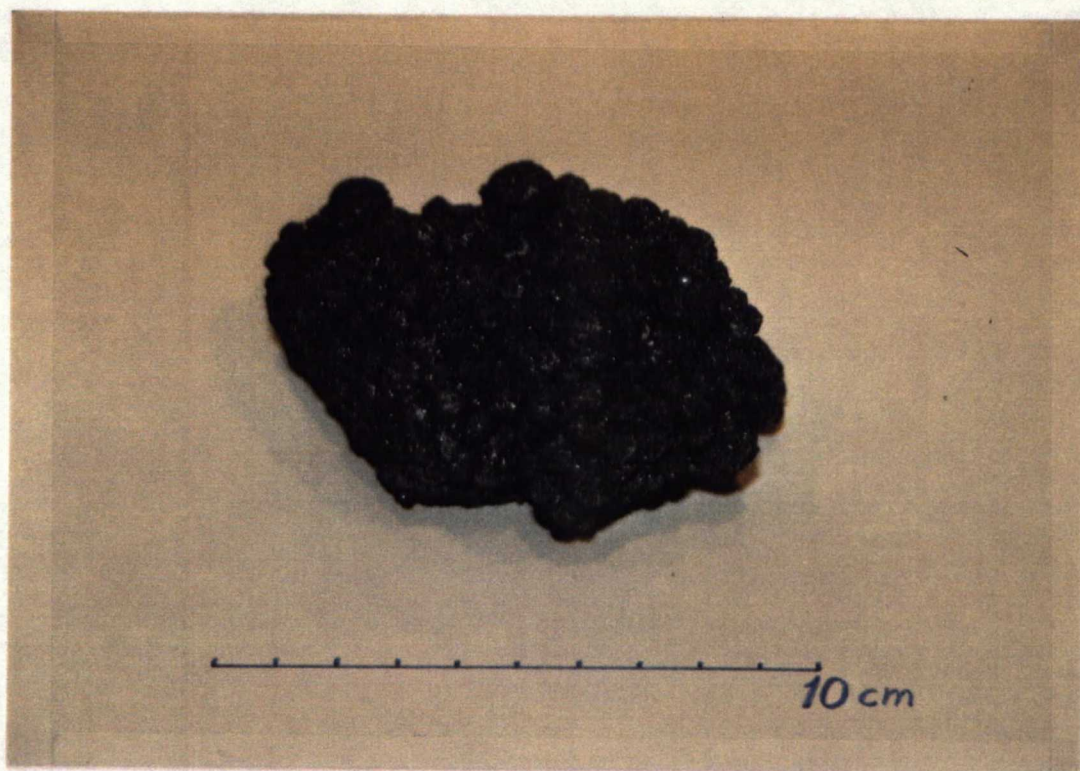
Kokeita vaivasi alusta loppuun sama ongelma: patjan pintaa ei saatu sintrautumaan ja agglomeroitumaan kunnolla. Sytytysaikaa pidentämällä ja oikeaa koksipitoisuutta hakemalla saatiin myös pintapelletit sintrautumaan, mutta

agglomeraattien synty pinnalla oli edelleen vaikeaa. Lisäksi pitkään oli ongelmana patjan sisäosiin syntyvä korkea lämpötila, joka aiheutti liiallista sulamista ja täten permeabiliteetin heikkenemistä.

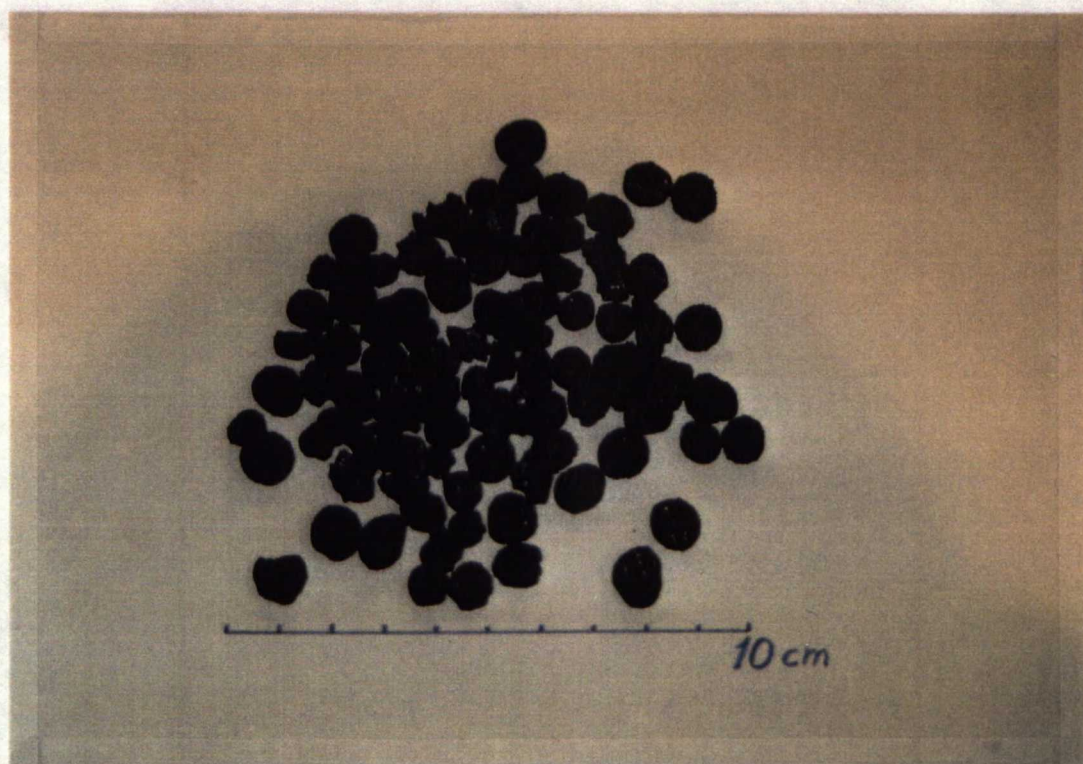
Viimeisessä sintrauksessa, jossa sytytysaika oli 3 minuuttia ja koksipitoisuus 4.0 % pinnalla ja 3,0 % sisäosissa, saavutettiin viimein kuitenkin lupaava tulos: patja oli sintrautunut tasaisesti pinnalta pohjalle asti ilman liian voimakasta sulamista ja agglomeraatteja oli syntynyt myös pinnalla. Nämä agglomeraatit olisivat voineet olla lujemmin sitoutuneita, mutta on syytä olettaa, että sintrausparametrit tässä kokeessa olivat jo melko kohdallaan. Sintrausaika, 37,1 min, ei ollut lyhimpiä (lyhimmät n. 20 minuuttia), mutta ei myöskään kohtuuttoman pitkä. Palautemäärä oli laboratorio-oloissa suoritetulle pellettisintraukselle tyypillinen 18,2 % ja käytetty alipaine 1000 mmAq, sama lähes koko koejakson ajan, oli matalampi kuin normaalin sintrauksen 1400 mmAq. Sintrauksen lämpökäyriä on esitetty liitteissä.

11.2.1. Makro- ja mikrorakenne

Kuten jo edellä on käynyt ilmi, oli kokeissa vaikeuksia saada aikaan pellettisinterille tyypillinen huokoinen makrorakenne, johon myös sen hyvät ominaisuudet paljolti perustuvat. Kuvassa 78 on esitetty pellettisintrauksella tuotettu, pelleteistä koostuva agglomeraatti ja kuvassa 79 irrallisia pellettejä, jotka ovat pellettisintrauksen kannalta optimaalista 5 - 10 mm halkaisijaltaan olevaa raekokoa.



Kuva 78. Pelleteistä koostuva pellettisinteriagglomeraatti



Kuva 79. Irrallisia pellettejä

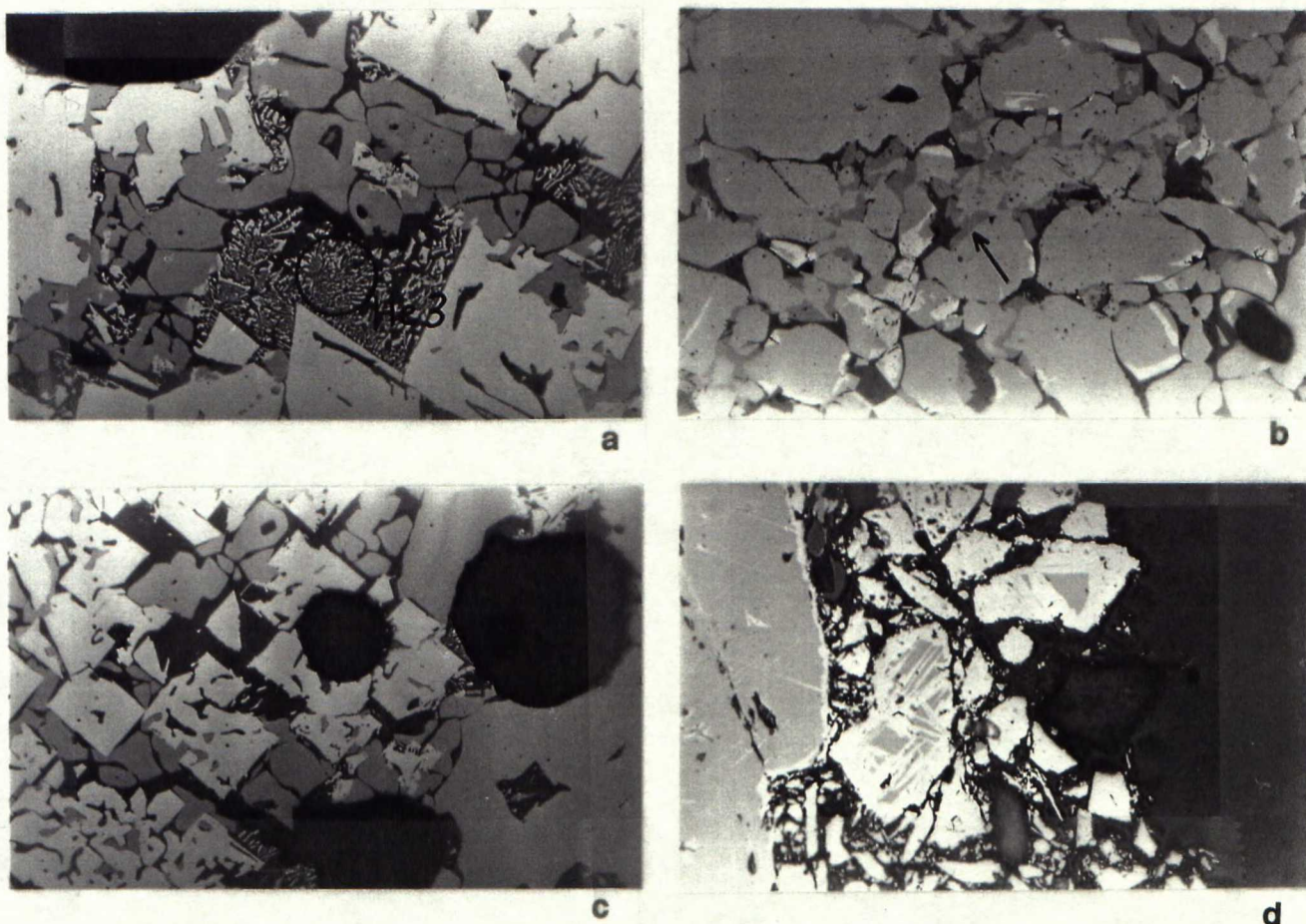
Parhaimmillaan pellettisintterin rakenne koostuu toisiinsa melko tiukasti kiinnittyneiden pellettien muodostamista huokoisista agglomeraateista, joilla on hyvät pelkistys- ja lujuusominaisuudet ja jotka masuunissa läpäisevät hyvin kaasuja ja ovat helposti panostettavissa masuuniin edullisella tavalla. Tämän työn yhteydessä suoritetuissa kokeissa oli vaikeutena saada koko patjaan tasainen ja oikea terminen historia, jolla olisi saatu oikea makrorakennekoko patjaan. Suurimpana ongelmana oli pinnan huono sintrautuminen ja huono agglomeroituminen ja toisaalta patjan sisäosien liiallinen sulaminen ja tämän aiheuttama permeabiliteetin heikkeneminen.

Mikrorakenne oli sintterille tyypillinen. Kuvassa 80 on esitetty mikrorakennekuvia pellettisinttereistä.

12. YHTEENVETO

Tämän työn kirjallisessa osassa on käsitelty agglomeroinnin teoriaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Rautarikasteiden agglomeroituvuuteen vaikuttavat useat eri parametrit, kuten esim. rikasteen laatu (hematiitti, magnetiitti), rikasteen raekokojakauma, kosteuspitoisuus, lisäaineet ja käytetty agglomerointimenetelmä. Tarkemmin on paneuduttu Japanissa NKK:n Fukuyaman tehtailla varsin pitkälle kehitettyyn Hybridi-Pelletti-Sintraus-menetelmään (HPS). Menetelmän soveltuvuutta Rautaruukki Oy:n sintrauskäytäntöön ja pohjoismaisille rautarikasteille tutkittiin tämän työn kokeellisessa osassa. Itse menetelmä ei ideana ole uusi, vaan sitä on käytetty ja 50-luvulla, mutta se on jäänyt varsin vähälle huomiolle, kunnes vasta 80-luvun lopulla Japanissa saatiin päätökseen menetelmän perusteellinen tutkimus ja aloitettiin sen teollinen soveltaminen.

Pellettisintrauksessa on kyseessä perinteisen sintrauksen ja pellettoinnin yhdistelmä. Käytettävä rikaste pelletoidaan ensin joko pelletointilautasella tai -rummussa, mutta pellettien koko rajoitetaan 5 - 10 mm:in halkaisijaltaan, poiketen varsinaisessa



Kuva 80. Mikrorakennekuva pellettisinterihiieestä, suurennos 100 X

- a. sintteripatjan pohjalta, pelletin sisältä, hematiitti 3
(Hematiitti 3:lla tarkoitetaan eutektista hematiitti-kuona-rakennetta joka syntyy dikalsiumsilikaatin ja hematiitin faasirajalla (engl. skeletal hematite))
- b. sintteripatjan pohjalta, kalsiumferriittiä magnetiitissa
(nuolen osoittama tumma kohta)
- c. Pelletin pinnalla (vasemmalla) hematiittia, syvemmällä magnetiittia
- d. sintrautumaton pelletin pintaa, rikasteen rakenne selvästi nähtävissä

varsinaisessa pelletointiprosessissa valmistettavista pelleteistä, joiden halkaisija on 10 - 15 mm. Pelletoinnin jälkeen pelletit pinnoitetaan koksilla. Täten saadaan

tehokkaampi koksen palaminen kuin jos koksi olisi sekoitettu rikasteeseen jo ennen pelletointia ja koksi täten olisi tasaisesti jakautunut pelletin sisälle. Koksilla pinnoitetut pelletit panostetaan sintrauskoneen arinalle ja sintrataan. Menetelmän etuna on pelleteillä saavutettava hyvä permeabiliteetti sintrauspatjassa. Parantuneen permeabiliteetin seurauksena voidaan imutehoa pienentää tai sintrausaikaa lyhentää.

Tuotteena HPS-prosessista saadaan huokoisia pellettiagglomeraatteja, joilla masuunissa on samat panostusominaisuudet kuin sintterillä ja paremmat korkealämpötila- ja pelkistysominaisuudet kuin pelleteillä ja sintterillä. Myös siinä tapauksessa, että agglomeraatit hajoavat yksittäisiksi pelleteiksi, käyttäytyvät ne masuunia panostettaessa samalla tavoin kuin sintteri, johtuen pelletin pinnan epätasaisuudesta. Koska HPS-prosessilla on saavutettavissa selviä etuja perinteiseen sintraukseen ja pelletointiin verrattuna, katsottiin tarpeelliseksi tutkia sen soveltuvuutta Rautaruukki Oy:n sintrauskäytäntöön. Pelletoinnin onnistumiseksi oli Rautaruukin sintrausseoksessa hienoaineksen määrää nostettava. Hienoainesmäärän lisäämiseksi korvattiin 40 % MAF:sta pelletointihienouteen jauhetulla MAF:lla.

Kokeet suoritettiin Rautaruukki Oy:n Raahen tehtaiden koesintraamolla laboratoriomittakaavassa. Pelletointia varten rakennettiin pelletointilautanen, jonka halkaisija on 120 cm. Samalla lautasella suoritettiin myös pellettien pinnoitus koksilla. Sintraus tapahtui panosprosessina sintrauspannussa, joka reunavaikutuksen välttämiseksi vuorattiin hiekkakerroksella. Panoksen koko oli n. 110 kg.

Kokeet aloitettiin pelletointikokeilla, joissa valittiin käytettävä lisäaine. Lisäaineina kokeiltiin poltettua kalkkia, bentoniittia, Periduria ja Alcotacia, joista kaksi jälkimmäistä ovat orgaanisia lisäaineita. Sintrauskokeissa käytettäväksi lisäaineeksi valittiin Alcotac.

Sintrauskokeiden alkuperäisenä tarkoituksena oli saada aikaan laadullisesti hyvää sintteriä ja löytää pellettisintraukselle oikea polttoainemäärä, kosteus ja imuteho. Oikea kosteus löytyi jo pelletointikokeissa, mutta HPS-prosessin polttoainemäärän määrittäminen käytössä olleella laitteistolla osoittautui aikaa vieväksi ongelmaksi. Patja saatiin alusta asti sintrautumaan pintaa lukuunottamatta hyvin. Pintaosaan jäi kuitenkin 100 - 150 mm:n kerros, jossa pelletit eivät sintrautuneet toisiinsa kiinni ja muodostaneet toivotunlaisia pellettiagglomeraatteja. Tämän ongelman ratkaiseminen eli oikean polttoainepitoisuuden löytäminen vei lähes koko sintrauskokeisiin varatun ajan ja näin ollen ei sintterin laatua päästy kunnolla tutkimaan. Viimeisessä sintrauksissa saatiin koko sintteripatja jo agglomeroitumaan käyttämällä patjan pintaosassa muita korkeampaa koksipitoisuutta.

Kokeissa käytettiin koko ajan matalampaa alipainetta (1000 mmAq) kuin normaaleissa koesintrauksissa (1400 mmAq) ja parhaimmillaan päästiin myös erittäin lyhyisiin sintrausaikoihin, lyhimät n. 20 min. Palautetta pellettisintrauskokeissa syntyi ainoastaan n. 20 % kun sitä perinteisessä sintrauksessa syntyy n. 30 %. Jatkuvatomisella laitteistolla, jossa materiaalin seulonta ja kierrätys on asianmukaisesti järjestetty, on odotettavissa saannin kohoavan jopa 90 %:in.

Prosessi osoittautui selvästi herkemmäksi ja vaikeammin hallittavaksi kuin ennakkoon osattiin odottaa. MAF sellaisenaan on erittäin vaikeasti pelletoitava rikaste. Pelletoinnin onnistumisen kannalta on MAF:iin lisättävä riittävästi hienoa ainesta ja kosteuspitoisuuden oltava käytettävälle rikasteelle ominaisella optimaal alueella. Pelletointilautasen pyörimisnopeus ja kallistuskulma on säädettävä kohdalleen, jotta lautanen purkaa reunan yli halutun kokoisia pellettejä. Myös polttoainemäärälle on Rautaruukki Oy:n sintrausseos erittäin herkkä. Mahdollinen syy tähän saattaa olla eri materiaalipohja kuin Japanissa käytettävä. Pohjoismaissa rikasteet ovat magnetiittipohjaisia kun Japanissa puolestaan on käytössä hematitiirikasteet.

Käytössä ollut laboratoriomittakaavainen laitteisto ei mahdollistanut prosessin jatkuvuutta, vaan kokeet jouduttiin suorittamaan panoksittain. Tämä osaltaan vaikeutti sekä kosteuden että pelletteihin tarttuvan polttoainemäärän kontrollointia. Myös pelletoidun materiaalin seulonnassa oli ongelmia johtuen prosessin panosluonteesta. Sintrauspannun pienuudesta johtuen muodostui reunaefektin vaikutus kohtuuttoman suureksi. On oletettavaa, että suuremmalla pilot-laitteistolla, jolla prosessi saadaan jatkuvaksi ja reunaefektien vaikutus pienemmäksi, tulevat HPS-menetelmän edut selvemmin esille ja prosessi helpommin hallittavaksi.

Huolimatta siitä, että sintterin laatua ei päästy kunnolla tutkimaan, osoittivat kokeet, että etuja perinteiseen sintraukseen verrattuna on saavutettavissa: imutehoa voidaan laskea parantuneen permeabiliteetin seurauksena tai toisaalta käyttämällä voimakkaampaa imua voidaan sintrausaikaa lyhentää. Myös palaute-määrät vähenevät materiaalin pelletoinnista johtuen.

KIRJALLISUUS

- /1/ LYKLEMA, J., The Colloidal Background of Agglomeration. 4th International Symposium on Agglomeration. Toronto, Ontario, June 2-5, 1985. Iron and Steel Society, Inc. 1985, 23-35
- /2/ MEYER, K., Pelletizing of Iron Ores. Dusseldorf, 1980, 302
- /3/ NAGANO, S., NODA, H., YANAKA, H., SHIOBARA, K., YAMAOKA, Y., Characteristics of Sinter Feed and It's Influence on Sintering. 4th International Symposium on Agglomeration. Toronto, Ontario, June 2 5, 1985. Iron and Steel Society, Inc. 1985, 191-202
- /4/ SASTRY, K. V. S., NEGM, A., KATER, T., Role of Binders During Pelletization of Iron Ore Concentrates - Pellet Growth and Strength Aspects. Toronto, Ontario, June 2-5, 1985. Iron and Steel Society, Inc. 1985, 41-47
- /5/ YOSHINAGA, M., SATO, S., KAWAGUCHI, T., Fundamental Study on Granulation of Sinter Raw Material Mixture. Australia/Japan Extractive Metallurgy Symposium. Sydney, July 16-18, 1980. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 1980, 145-155
- /6/ APPLEBY, J. E., SHAW, G., Carbonaceous Additives in the Pelletizing Process. 4th International Symposium on Agglomeration. Toronto, Ontario, June 2-5, 1985. Iron and Steel Society, Inc. 1985, 49-74
- /7/ Allied Colloids Technical and Processing Data Sheet, TPD 1195 (PROV)

- /8/ PANIGRAHY, S. C., RIGAUD, M., MALINSKI, I., TREMBLAY, R., Substitution of Bentonite and It's Effect on Pellet Properties. 4th International Symposium on Agglomeration. Toronto, Ontario, June 2-5, 1985. Iron and Steel Society, nc. 1985, 75-82
- /9/ TAGUCHI, K., HANAOKA, K., IKEDA, K., Production of SelfFluxed Pellets and Improvement of Quality. Australia/Japan Extractive Metallurgy Symposium. Sydney, July 16-18, 1980. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 1980, 179-187
- /10/ YAMANAKA, H., SATO, K., NAKATA, T., MORITA, M., ASO, S., NAKAMURA, Y., Application of Pan Pelletizing Technology to the Steel Industry. 4th International Symposium on Agglomeration. Toronto, Ontario, June 2-5, 1985. Iron and Steel Society, Inc. 1985, 227-242
- /11/ HASENACKI N. A., VOS, R. A., KEDDEMAN, E., Developments of Sinter Technology at Hoogovens Ijmuiden. 4th International Symposium on Agglomeration. Toronto, Ontario, June 2-5, 1985. Iron and Steel Society, Inc. 1985, 137-146
- /12/ KASAI, E., RANKIN, W. J., GANNON, J. F., The Effect of Raw Mixture Properties on Bed Permeability During Sintering. ISIJ International, 29 (1989) 1, 33-42
- /13/ VIDAL, R., MEUNIER, G., POOT, E., Investigations into the Rational Constitution of Sinter Blend with a View to Production of High Quality Sinter. 4th International Symposium on Agglomeration. Toronto, Ontario, June 2-5, 1985. Iron and Steel Society, Inc. 1985, 181-189
- /14/ HILLI, M., Heat Exchange in the Sinter Bed. Oulu 1976. Rautaruukki OY, research. Report N:o 1212.01, 28

- /15/ LATASHEV, A. N., TKACHEV, V. V., Sintering of Fine Concentrates. Steel in the USSR, 15 (1985) 10, 461-463
- /16/ RANKIN, W. J., ROLLER, P. W., Influence of Water Condensation on the Permeability of Sinter Beds. Transactions ISIJ, 27 (1987), 190-196
- /17/ ERRIGO, V., DAMIANI, M., SCARTON, A., PINTI, M., Research Experience to Improve Sinter Plant Performance. 37th Ironmaking Conference Proceedings. Chicago, April 16-20, 1978. Iron and Steel Society, Inc. 1978, 445-456
- /18/ Pelletized Sintering Produces Permeable Charge Material from Fine Ores. Steel Times, June 1988
- /19/ VIGURI, J. M., APARICIO, F. C., MONASTERIO, M., Ore Hearth Layer Sintering at Altos Hornos De Vizcaya. 34th Ironmaking Conference Proceedings. Toronto, April 13-16, 1975. Iron and Steel Society, Inc. 1975, 62-84
- /20/ SAKAMOTO, N., NODA, H., IWATA, Y., SAITO, H., MIYASHITA, T., Fundamental Investigation of New Iron Ore Agglomerates and Evaluation of Their Properties for the Blast Furnace. Transactions ISIJ 28 (1988), 619-627
- /21/ NAGANO, S., NIWA, Y., SUMIGAMA, T., KOMATSU, O., SHIMIZU, M., NODA, H., Commercial Operation of the Hybrid Pelletized Sinter (HPS) at Fukuyama Works. Proceedings of the Sixth International Iron and Steel Congress, 1990, Nagoya, ISIJ, 56-63

- /22/ NIWA, Y., KOMATSU, O., SAKAMOTO, N., OGAWA, S., Development of Hybrid Pelletized Sinter Process and It's Commercial Operation at Fukuyama No.5 Sintering Plant. 1990 Ironmaking Conference Proceedings, 683-690

RAUTARUUKKI OY / Tutkimuskeskus, Raahе

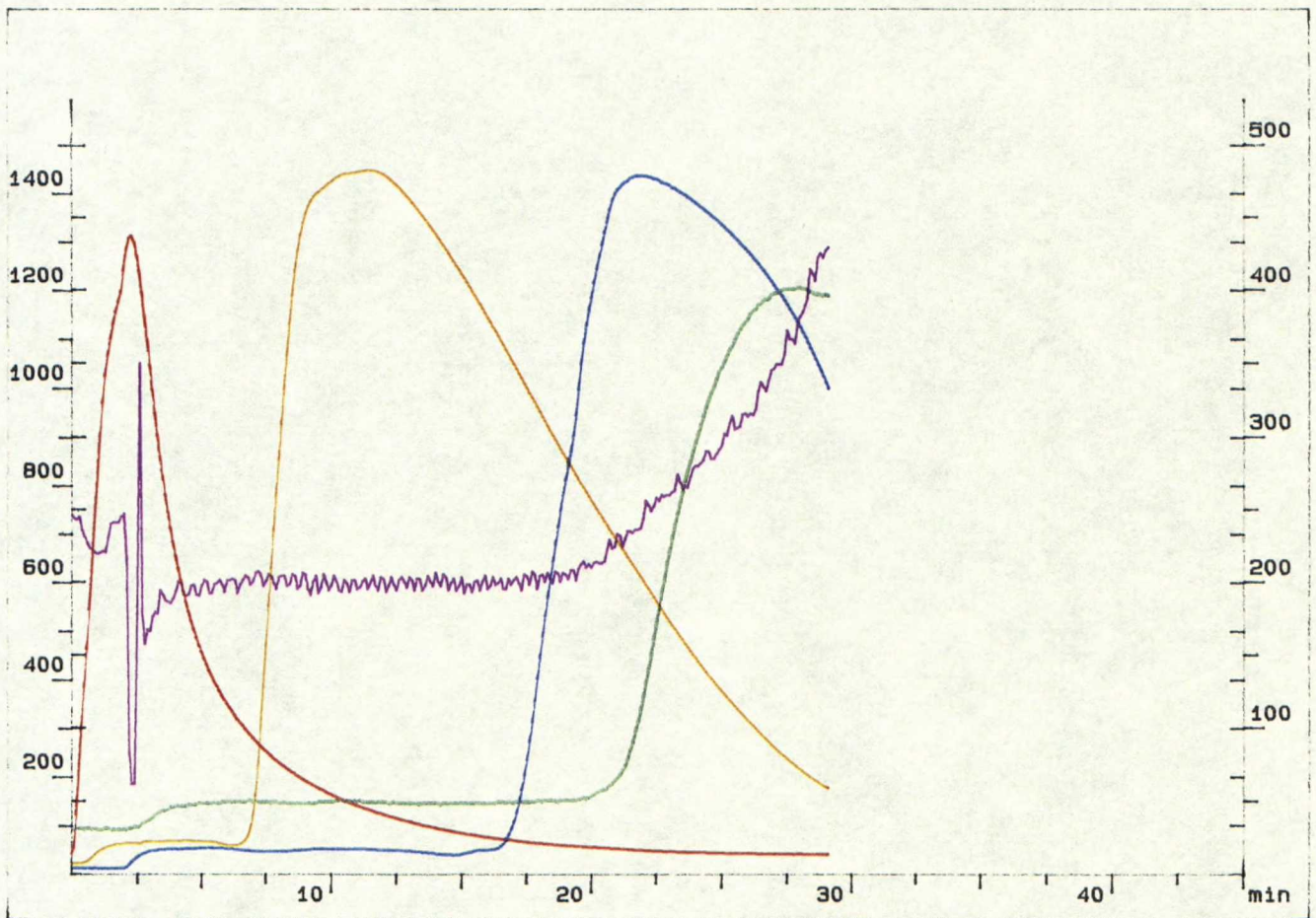
11.08.91

KOESINTRAAMO

Sintraus: 0814-652189

Kuvaus: pellettisintraus

Kaasunläpäisevyys	110	mmH ₂ O
Tilavuuspaino	2.12	kg/dm ³
Panostusmäärä	79	kg
Patjan korkeus	400	mm
Alipaine	1400	mmH ₂ O



Sytytyslämpötila [1500 C]
 -50 mm lämpötila [1500 C]
 -150 mm lämpötila [1500 C]
 Savuk. lämpötila [500 C]
 Savuk. virtaus [500 m³/h]

RAUTARUUKKI OY / Tutkimuskeskus, Raahе

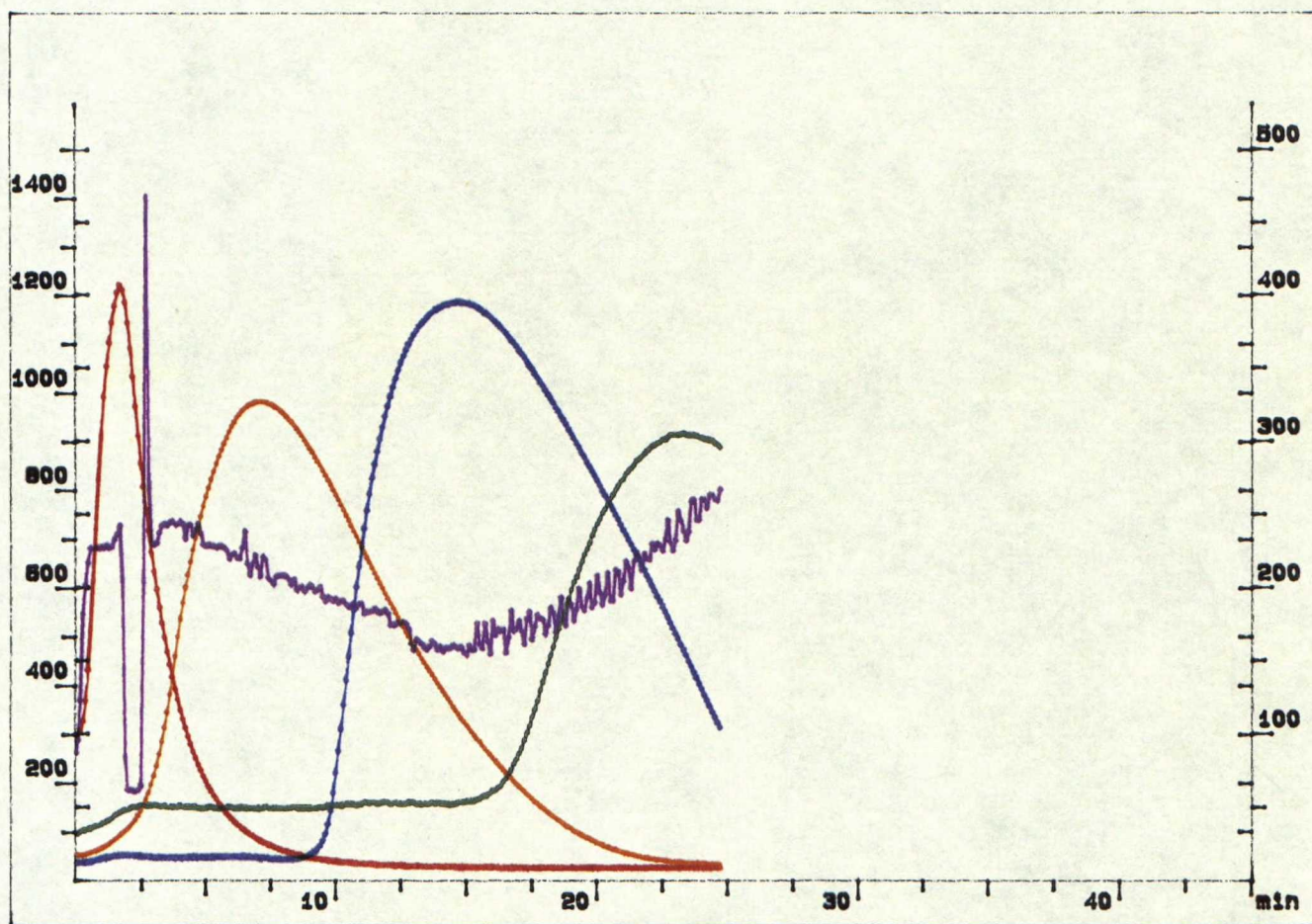
12.08.91

KOESINTRAAMO

Sintraus: 0814-652193

Kuvaus: pellettisintraus

Kaasunlämpösevyys	45	mmH ₂ O
Tilavuuspaine	1.99	kg/dm ³
Panostusmäärä	70	kg
Patjan korkeus	400	mm
Alipaine	1000	mmH ₂ O



Sytytyslämpötila [1500 C]
 -50 mm lämpötila [1500 C]
 -150 mm lämpötila [1500 C]
 Savuk. lämpötila [500 C]
 Savuk. virtaus [500 m³/h]

RAUTARUUKKI OY / Tutkimuskeskus, Raahе

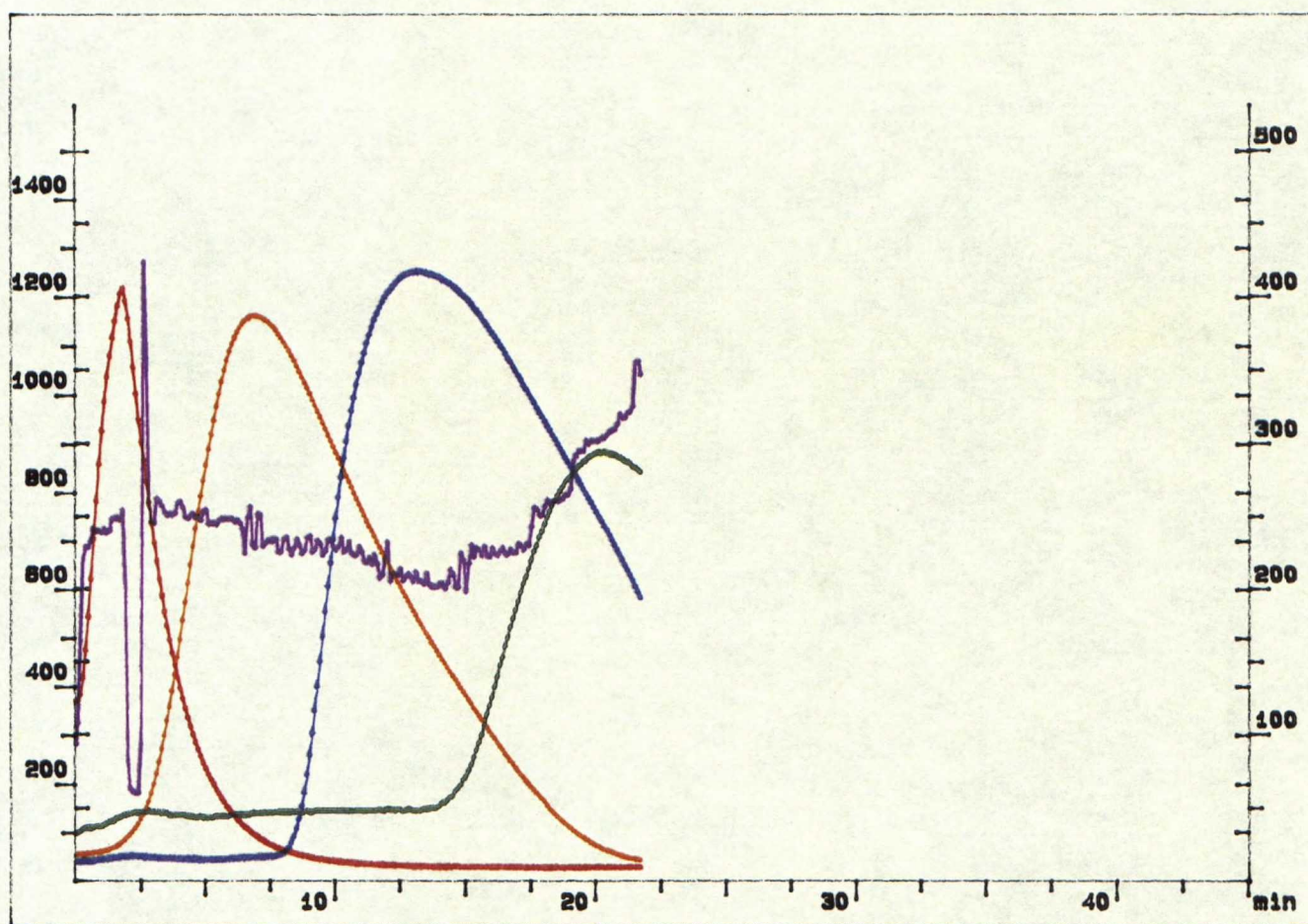
12.08.91

KOESINTRAAMO

Sintraus: 0814-652198

Kuvaus: pellettisintraus

Kaasunlämpösevyys	80	mmH ₂ O
Tilavuuspaine	1.91	kg/dm ³
Panostusmäärä	67	kg
Peljan korkeus	400	mm
Alipaine	900	mmH ₂ O



Sytytyslämpötila [1500 C]
 -50 mm lämpötila [1500 C]
 -150 mm lämpötila [1500 C]
 Savuk. lämpötila [500 C]
 Savuk. virtaus [500 m³/h]

RAUTARUUKKI OY / Tutkimuskeskus, Raahе

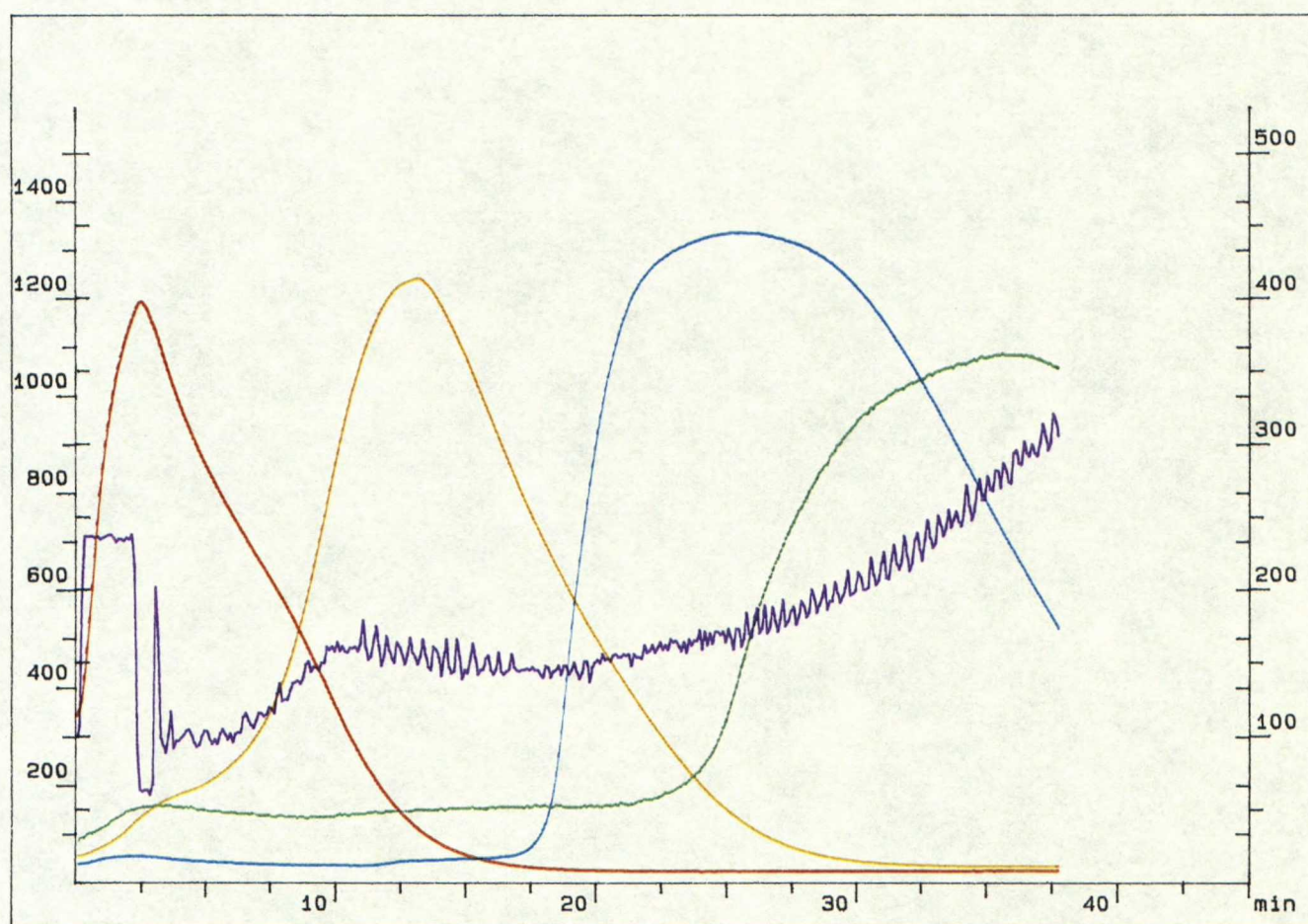
09.09.91

KOESINTRAAMO

Sintraus: 0814-652232

Kuvaus: pellettisintraus

Kaasunläpäisevyys	55	mmH2O
Tilavuuspaino	1.96	kg/dm3
Panostusmäärä	66	kg
Patjan korkeus	400	mm
Alipaine	1000	mmH2O



Sytytyslämpötila [1500 C]
 -50 mm lämpötila [1500 C]
 -150 mm lämpötila [1500 C]
 Savuk. lämpötila [500 C]
 Savuk. virtaus [500 m3/h]

Teknillinen korkeakoulu
Materiaali- ja kallio-
tekniikan laitoksen kirjasto
Vuorimiehentie 2
02150 ESPOO